

AUTOMATISIERUNGS-TECHNIK

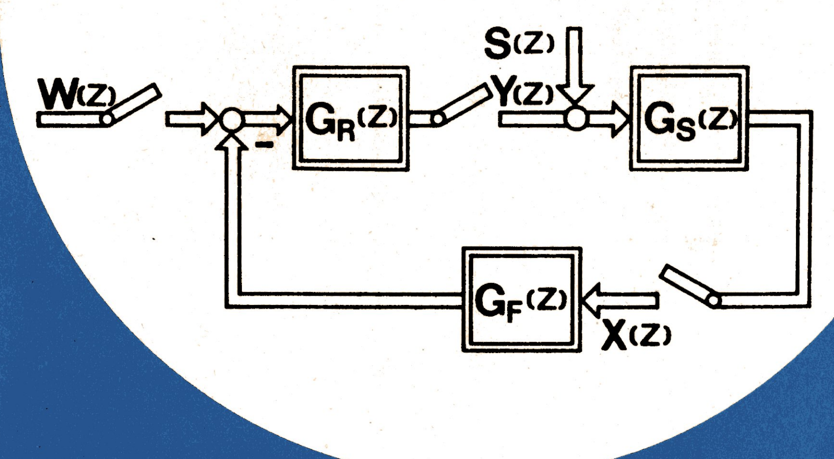
Teil B **21**

Dr.-Ing. H. Wittich, KdT

Dipl.-Ing. R. Weinheimer   Dipl.-Ing. K.-J. Ebert

Montage und Inbetriebsetzung von Automatisierungsanlagen mit dem Prozeßleitsystem audatec

-Inbetriebsetzung-



Montage und Inbetriebsetzung von Automatisierungsanlagen mit dem Prozeßleitsystem "audatec"
Teil B: Inbetriebsetzung

Bearbeiter: Dr.-Ing. Hartmut Wittich, KDT
Dipl.-Ing. Robert Weinheimer
Dipl.-Ing. Karl-Jürgen Ebert

VEB Geräte- und Regler-Werke "Wilhelm Pieck" Teltow
Betrieb des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau

Diesen Band widmen wir unserem verstorbenen Kollegen,

Herrn Ing. Siegfried Häberer, KDT.

Herausgeber: Betriebssektion der Kammer der Technik und Zentrale Informationsstelle Wissenschaft und Technik des VEB Geräte- und Reglerwerke Teltow Betrieb des Kombinat Automatisierungsanlagenbau
Oderstrasse 74/76
T E L T O W
1 5 3 0

Lektor: Dr.-Ing. J. Kliemann, KDT

Redaktionsschluss: 10.10.1988

Ag 238/89 1016/3/89 I-3-2

Vorwort

Das Prozessleitsystem 'audatec' ist das derzeit in der DDR einzig verfügbare Prozessleitsystem eigener Entwicklung. Es wurde bereits erfolgreich zur Automatisierung der verschiedensten technologischen Prozesse in Industrie und Landwirtschaft, aber auch als Lehr- und Simulationssystem an Instituten und Bildungseinrichtungen im In- und Ausland, eingesetzt.
Bei der Inbetriebsetzung von Automatisierungssystemen mit Mikrorechnern, wie es das Prozessleitsystem 'audatec' darstellt, behalten die grundlegenden technologischen Schritte der Inbetriebsetzung sowie die theoretischen Grundlagen zur automatischen Steuerung technischer Prozesse Gültigkeit.
Nach wie vor muss der Inbetriebsetzungsingenieur die Fähigkeit besitzen, sowohl durch praktische Untersuchungen als auch durch Anwendung naturwissenschaftlicher und technischer Grundgesetze mathematische Modelle für das statische und dynamische Verhalten der zu automatisierenden Prozesse, einschliesslich der Automatisierungsgeräte zu gewinnen. Dabei hilft dem Inbetriebsetzungsingenieur Berufserfahrung, gepaart mit fundiertem theoretischen Wissen.
Aus dem Einsatz der Mikrorechentechnik in Automatisierungssystemen resultieren für die Inbetriebsetzung zusätzliche, neue Problemstellungen, die in ihrer Besonderheit aus dem Einsatz der Mikrorechentechnik im allgemeinen, als auch aus dem Aspekt der digitalen Signalverarbeitung resultieren.
Die Vorzüge der Prozessrechentechnik zu nutzen, heisst anspruchsvollere und effektivere Automatisierungskonzeptionen umzusetzen. Die bisher mit dem Prozessleitsystem 'audatec' gewonnenen Erfahrungen zeigen, dass das vorhandene Funktionspotential nicht von selbst in höhere Effizienz umsetzbar ist. Deshalb werden auch an das Inbetriebsetzungspersonal erhöhte Qualifikationsanforderungen auf dem Gebiet der Hard- und Software, sowie an das Wissen um den Einsatz moderner Regelalgorithmen und Parameterschätzverfahren gestellt .
Zur Inbetriebnahme von Automatisierungsstrukturen beim Prozessleitsystem 'audatec' ist für den Inbetriebsetzungsingenieur der Umgang mit Inbetriebnahme- und Serviceeinrichtungen, Programmiergeräten, Mikrorechnerentwicklungssystemen und sonstigen Prüf- und Simulationseinrichtungen unumgänglich.
In zunehmenden Masse können zur Unterstützung der Prozessanalyse externe Rechner im off-line-Betrieb aber auch Softwarebausteine, die in der Automatisierungsanlage intergriert sind, genutzt werden.
Neu gegenüber analogen Systemen ist dabei der Aspekt der digitalen Signalverarbeitung. Sowohl die Vorzüge als auch die Nachteile der digitalen Signalverarbeitung sind zu erkennen und bei einer effektiven Anlagenautomatisierung zu beachten.
Die mit der Einführung von Prozessleitsystemen an das Inbetriebsetzungspersonal gestellten höheren Qualifikationsanforderungen bedingen eine Spezialisierung und Arbeitsteilung unter den Ingenieuren der Inbetriebsetzungskollektive.
Der Rahmen des vorliegenden Heftes ist zu klein, um die Gesamtheit der veränderten Problemstellungen und Arbeitsinhalte, die

sich mit dem Einsatz des Prozessleitsystem 'audatec' für die Inbetriebsetzung ergeben, umfassend zu beschreiben.
Mit diesem Heft sollen dem Interessierten Denkanstösse bei der technologischen Durchdringung des Inbetriebsetzungsprozesses zum Prozessleitsystem 'audatec' (Abschnitt 1 u. 2) gegeben werden.
Dem fachkundigen Inbetriebsetzungsingenieur kann es hilfreich bei der Durchführung spezifischer Inbetriebnahmearbeiten sein.
Im Abschnitt 3.1 u. 3.2 wird auf die Besonderheiten im Umgang mit dynamischen Softwaremodulen beim PLS 'audatec' hingewiesen.
Es wird der Einfluss der Abtastung aus der Sicht der Parametrierung der Module und der Regelkreisoptimierung behandelt.
Die bisherigen Anwendungsfälle zur Prozessautomatisierung zeigen, dass die Steuerungsaufgaben anteilig gegenüber den Aufgaben zur Prozessstabilisierung dominieren.
Grosse und komplizierte Steuerungen haben einen geringen Wiederholgrad, so dass sich die im Abschnitt 3.3 gegebenen Empfehlungen zur Inbetriebnahme von Steuerungen auf allgemeine Hinweise und Strategien zur Steuerungsinbetriebnahme beziehen.
Unter Nutzung der Systemeigenschaften des PLS 'audatec' werden im Abschnitt 4 dem Inbetriebsetzungsingenieur einfache, die Inbetriebsetzungsarbeit unterstützende Hilfsmittel zur Signal- und Regelstreckensimulation angeboten.
Neben dem fachlichen Inhalt zur Inbetriebsetzung ist besonders bei grossen Konfigurationen von Automasisierungsanlagen der organisatorische Teil zur Lenkung und Leitung des gesamten Inbetriebsetzungsprozesses von nicht zu unterschätzender Bedeutung.
Im Abschnitt 5 wird auf die Erstellung und Führung von Arbeitsunterlagen hingewiesen, die es gestatten, die Inbetriebsetzungsarbeiten effektiv zu organisieren, übersichtlich und abrechenbar zu gestalten.
Durch die Entwicklung leistungsfähigerer Mikrorechnersysteme und die Einführung intelligenter Mess- und Stelltechnik für die Prozessautomatisierung werden auch zukünftig gravierende Einflüsse auf die Technologie und die Arbeitsinhalte der Inbetriebsetzung zu erwarten sein (Abschnitt 6).

Inhaltsverzeichnis

1. Gegenstand der Inbetriebsetzung von Automatisierungsanlagen

Unter Inbetriebsetzung einer Automatisierungsanlage soll die Gesamtheit aller Handlungen zur Vorbereitung und Durchführung der Funktionsprobe der Automatisierungsanlage (AA) und des Probebetriebes der Gesamtanlage verstanden werden (TGL 32 991/02).
Die Inbetriebnahme ist die erstmalige zweckentsprechende Nutzung der Automatisierungsanlage.
Die Inbetriebnahmephase ist durch die schrittweise Anpassung der projektierten Automatisierungsstrukturen an den technologischen Prozess, bei bereits funktionsfähiger Automatisierungsanlage, gekennzeichnet.
Im Ergebnis des positiven Abschlusses der Inbetriebsetzung steht die Freigabe zum Dauerbetrieb.

Die Inbetriebsetzungsphase ist in die zeitlich aufeinanderfolgenden arbeitsteiligen Schritte

- interne Funktionsprobe als Nachweis der Funktionsfähigkeit einer msr-Stelle ohne Betriebsmedium

- komplexe Funktionsprobe als Nachweis der Funktionsfähigkeit des Zusammenwirkens einzelner msr-Stellen einschliesslich der Stellorgane, einzelner Aggregate oder Anlagenteile unter Beteiligung mehrerer Gewerke

- Probebetrieb als Nachweis der Funktionsfähigkeit der Gesamtanlage mit Betriebsmedium bei unterschiedlichen Belastungsfällen

- Leistungsnachweis als Nachweis der vertraglich festgelegten Anlagenleistung, der Anlagensicherheit und der Produktqualität,

gegliedert, und in ihren grundsätzlichen Arbeitsinhalten durch die TGL 329991/2 u.329991/26 bestimmt sind.
Einschränkende als auch ergänzende Feststellungen zum Arbeitsinhalt der Inbetriebsetzung von AA ergeben sich durch anwenderspezifische Abnahmeordnungen.
Voraussetzung für die Funktionsproben sind nachweis- und teils abnahmepflichtige Prüfungen der Montageausführung wie Isolationsvermögen, Eigensicherheit, Störbeeinflussung, Dichtigkeit, mechanische Festigkeit u.a. für eine erstmalig in Betrieb zu nehmende Anlage.
Über erreichte Ergebnisse ist schriftlich Nachweis zu führen. Liegen nach Abschluss der Funktionsproben die erforderlichen Nachweise und Zertifikate über die technische Abnahme und den Gesundheits-, Arbeits- und Brandschutz vor, kann die Freigabe zum Probebetrieb erteilt werden. Während des Probebetriebes sind vom Betreiber der Anlage Bedingungen zu erfüllen, die sich aus den Besonderheiten der durchzuführenden Inbetriebnahmearbeiten an Messungen, Steuerungen und Regelungen ergeben.

2. Einordnung der Inbetriebsetzung des PLS 'audatec' in den Fertigungs- und Realisierungsprozess

Bei Automatisierungssystemen mit einem hohen Grad an zentraler Informationsverarbeitung, insbesondere bei Automatisierungsanlagen mit Mikrorechnern, sind stationäre Prüfprozesse zur Funktion der AA für eine termin- und qualitätsgerechte Inbetriebsetzung auf der Baustelle unerlässlich.
Die Inbetriebsetzungsphase, die bei der konventionellen AA erst mit Beginn der internen Funktionsprobe auf der Baustelle einsetzt, erweitert sich bei Mikrorechnerautomatisierungsanlagen um den stationären Prüfprozess zur Funktion derselben, den **Komplextest** (siehe Bild 2.1). Im Komplextest werden das erste Mal auf der originalen Mikrorechnerkonfiguration die Automatisierungsstrukturen (Anwendersoftware) und der Systemverbund entsprechend Projekt geprüft. Voraussetzungen sind der Test der Anwendersoftware am Testrechnerarbeitsplatz sowie der Hardwaretest der Mikrorechnerfunktionseinheiten mit Prüfstrukturiersoftware.
Aus Bild 2.1 ist ersichtlich, dass sich verschiedene technologische Schritte während des Realisierungszeitraumes einer Automatisierungsanlage mit Mikrorechnern überlappen und auch parallel verlaufen wie z.B. Montage und interne Funktionproben des konventionellen Teils der AA einerseits sowie Komplextest, Montage und interne Funktionsproben des Mikrorechnerteils andererseits. Diese und andere Besonderheiten bedingen neue Lösungen bei der technologischen Gestaltung des Realisierungsprozesses von Automatiseirungsanlagen mit Mikrorechnern gegeüber konventionellen Automatisierungsanlagen.
Nach Beendigung des Komplextestes erfolgen die definierte Abrüstung, die Verpackung und der Versand der Automatisierungseinrichtung zur Baustelle. Durch Tests zur Systemhard- und Systemsoftware wird die Betriebsbereitschaft der Mikrorechneranlage vor Ort hergestellt. Der Nachweis der Systemfunktionen erfolgt mittels der vom Hersteller übergebenen Standardprüfsoftware.
Die Überprüfung der im Projekt ausgewiesenen Automatisierungsstrukturen beginnt mit den **internen Funktionsproben**.
In der Phase der internen Funktionsproben prüfen die an der Realisierung von Automatisierungsstrukturen beteiligten Gewerke wie z.B. der Automatisierungsanlagenbau, der Elektroanlagenbau u.a. intern die Funktion ihres Leistungsanteils auf auf projekt- und standardgerechte Ausführung. Die Phase der internen Funktionsproben ist kennzeichnend für den Abschluss eines wesentlichen Teils der Montagearbeiten aller am Signal- und Informationsverarbeitungssystem beteiligten Firmen.
Im Anschluss an die internen Funktionsproben, nach erfolgter Kopplung, beginnen die **komplexen Funktionsproben** . Hierbei wird der Signalfluss zwischen den einzelnen Teilen der Automatisierungsanlage geprüft. Das erfordert die Koordinierung der an den Funktionsproben beteiligten Gewerke. Das Ergebnis ist eine vom Signalfluss, von der Polarität und vom Messbereich der Signale fehlerfreie Automatisierungsanlage.
Der erfolgreiche Abschluss der komplexen Funktionsproben ist Voraussetzung für den Probebetrieb der Gesamtanlage.
Beim **Probebetrieb** sind die projektierten Automatisierungsstrukturen hinsichtlich der Erfüllung ihrer technologischen Zielsetzung zu überprüfen und gegebenenfalls in diesem Sinne zu ändern.

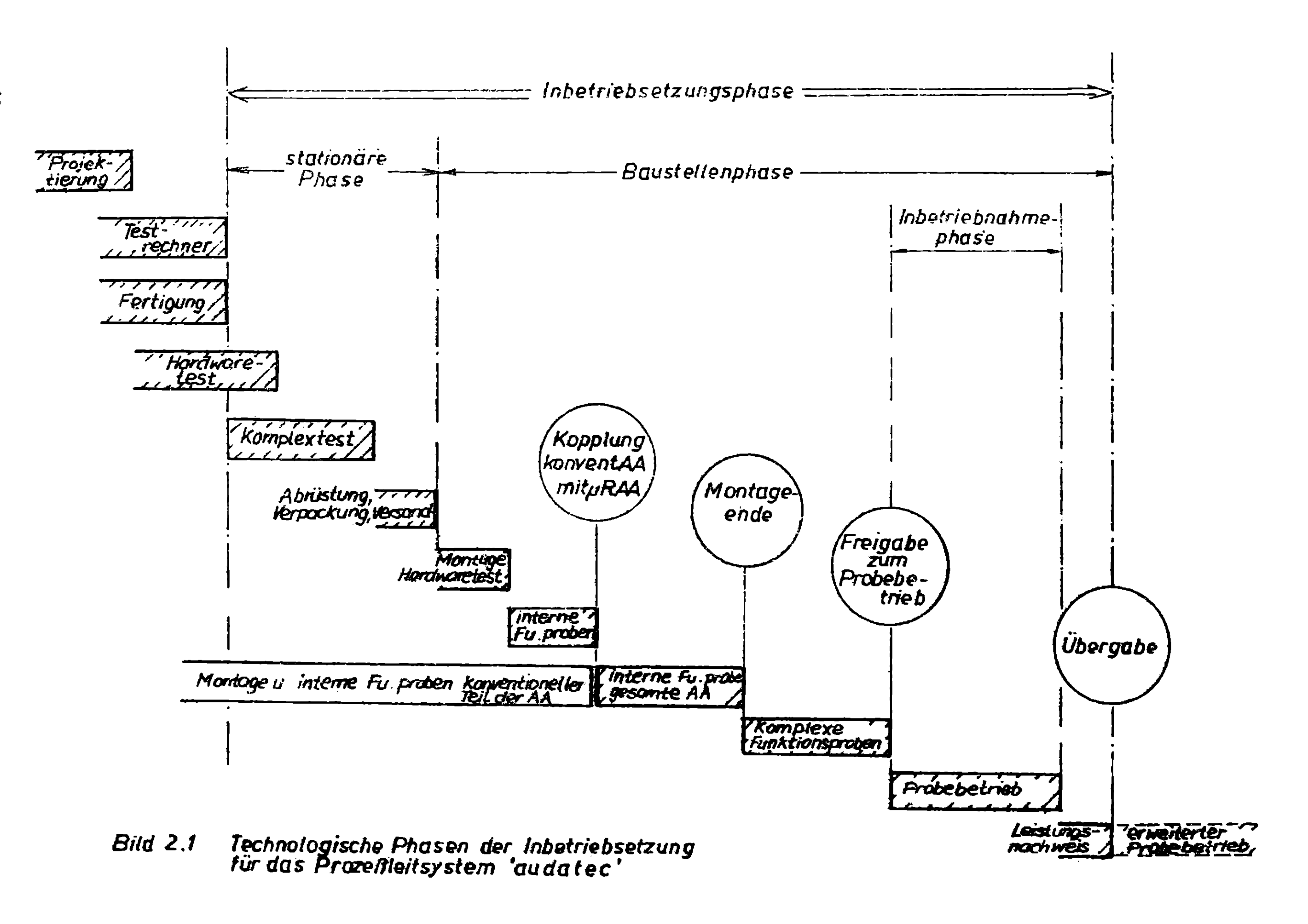


Bild 2.1 Technologische Phasen der Inbetriebsetzung für das Prozeßleitsystem 'audatec'

Entsprechend den Forderungen an die Güte der Prozessgrössen werden die Einstellparameter der Regelkreise und Steuerketten optimiert.
Das Anpassen der Regelungseinrichtung an die Regelstrecke oder das Anpassen der Steuerungseinrichtung an die Steuerstrecke wird als 'Einfahren' bezeichnet. Voraussetzungen für das Einfahren sind die Funktion der Mess- und Stellkreise sowie Kennwertermittlungen an Regel- und Steuerstrecke.
Zum Nachweis der vertraglich festgelegten Leistungsparameter der Anlage, der Anlagensicherheit und der Produktqualität, wird nach dem Probebetrieb ein **Leistungsnachweis** für die Gesamtanlage durchgeführt.

2.1. Technologische Phasen der Inbetriebsetzung

Die Inbetriebsetzung des PLS 'audatec' beginnt mit dem Komplextest im Prüffeld des Herstellers, nachdem bereits die Anwendersoftware am Testrechnerarbeitsplatz, sowie die Hardware der Funktionseinheiten erfolgreich geprüft wurde. Ausführliche Hinweise zu gefässbezogenen Prüfabläufen sind in [2.1],[2.2] zu finden.

2.1.1. Komplextest

Nachdem in der stationären Phase die verschiedensten Einzelprüfungen an Hardware, Firmware und Anwendersoftware zu unterschiedlichlichen Zeitpunkten teilweise an Simulationsrechnern und -geräten durchgeführt wurden, wird im Komplextest erstmalig die Originalkonfiguration der Mikrorechnerautomatisierungsanlage im Verbund einschliesslich der peripheren Geräte mit der projektierten Software getestet.
Der Komplextest garantiert als abschliessender Prüfabschnitt der stationären Prüfprozesse erstmalig zu diesem Zeitpunkt einen Qualitätsnachweis für die projektierte Funktion des PLS 'audatec'. Der Komplextest ist somit unerlässlich für eine optimale Gestaltung der Inbetriebsetzungsphase auf der Baustelle.

Voraussetzungen für die Durchführung des Komplextestes sind

- hardwaregeprüfte und komplett aufgerüstete Funktionseinheiten

- Verbundtest des Systems mit Prüfstrukturierdaten

- Stationsdatenträger mit getesteter Anwendersoftware sowie objektabhängige Strukturdaten je Funktionseinheit

- ein Prüfprojekt, insbesondere bei komplizierten Automatisierungsstrukturen, Softwaresonderlösungen sowie funktioneller Kopplung des PLS 'audatec' mit anderen Automatisierungs- oder Rechnersystemen

- sowie Prüfunterlagen und Prüfmittel, siehe auch in [2.1].

Nach Aufrüstung des Verbundes einschliesslich der Peripherie sind die Funktionseinheiten einzeln zuzuschalten und der Wiederanlauf entsprechend technologischer Vorschrift [2.2] zu prüfen.

Wesentliche Prüfschritte des Komplextestes sind

- Kontrolle der Systemübersicht und des Anlagenkonfigurators mit Fehlerbeseitigung
- Test der Datenübertragung zwischen den Funktionseinheiten
- Kontrolle des projektierten Zu- und Abschaltverhaltens einzelner Funktionseinheiten im Sinne der Anlagenfunktion und der Anlagensicherheit
- Prüfung der Datenbahnbelastung sowie der Redundanzfunktion für langsame und schnelle serielle Schnittstellen
- Funktionstest der Datenverarbeitungsperipherie
- Test der Strukturiersoftware
- Test der Funtion des Automatisierungssystems bei Kopplung mit anderen Systemen (Koppeleinrichtung)
- sowie Test von auftragsbezogenen Sonderlösungen bei Hard- und Software.

Mängel sind, soweit möglich, noch in der stationären Phase zu beseitigen. Der positive Abschluss des Komplextestes ist schriftlich zu bestätigen. Dann erfolgt die Abrüstung, die Verpackung und der Versand der Mikrorechnerautomatisierungsanlage zur Baustelle.

2.1.2. Herstellen der Betriebsbereitschaft des PLS 'audatec' auf der Baustelle

Nach der Aufrüstung des PLS 'audatec' auf der Baustelle ist der Funktionsnachweis der anlagenspezifischen Betriebssystemfunktionen der einzelnen Funktionseinheiten und des Verbundes mit Prüfstrukturiersoftware unter Baustellenbedingungen zu erbringen. Es sind dazu spezielle Prüfabläufe [2.2] , die erstmalig bei stationären Prüfungen zur Hardware durchgeführt wurden, vor Ort zu wiederholen.
Auf der Basis eines funktionsfähigen Prozessleitsystems ist die Aufnahme der Testung der msr-Strukturen gegeben.

2.1.3. Interne Funktionsproben

Automatisierungsanlagen mit Mikrorechnern bestehen in der gegenwärtigen Zeit aus Mikrorechnerfunktionseinheiten und dem konventionellen Automatisierungsanlagenteil, der die Prozessignale für die Mikrorechnerfunktionseinheiten aufbereitet bzw. die vom Mikrorechner ausgegebenen Informationen weiterverarbeitet.
Es ist zu empfehlen, die internen Funktionsproben für die Mikrorechnerfunktionseinheiten und für die konventionelle Automatisierungsanlage getrennt durchzuführen. Es werden dadurch die Mikrorechnerfunktionseinheiten vor der Zerstörung durch fehlerhafte Beschaltung geschützt.
Aus der getrennt durchgeführten internen Funktionsprobe der beiden Teile der Automatisierungsanlage folgt das Problem der Kopplung beider Anlagenteile als auch die Festlegung der Kopplungsbedingungen.
Bei nachträglichen Montagearbeiten am konventionellen Teil sind zum Schutz der Mikrorechnerfunktionseinheiten Montagefreigaben einzuholen.

2.1.3.1. Interne Funktionsproben an den Mikrorechnerfunktionseinheiten der Automatisierungsanlage

Nach erfolgtem Funktionstest des Prozessleitsystems vor Ort mit der Prüfstrukturiersoftware werden die EPROM-Schaltkreise der Prüfsoftware gegen die der objektabhängigen Software gewechselt. Nach Zuschalten des oder der Pultsteuerrechner wird durch Beschreiben einer RAM-Zelle über die Tastatur die autonome Funktion des Pultes realisiert (Mastervergabe) . Danach können die Strukturierdaten der betreffenden Funktionseinheit eingelesen werden.
Entsprechend Projekt sind die objektabhängigen Daten (Wörterbücher, Alarmgruppen, KOM-Stellengruppen u.a.) zu überprüfen. Nach der Kopplung der Basiseiheiten und dem Einlesen ihrer objektabhängigen Daten werden die strukturierten Modulketten mittels Projekt überprüft. Gegebenenfalls sind auf Grund neuer Erkenntnisse Änderungen vorzunehmen.
Durch Beschreiben des Prozessabbildes (RAM-Speicher der BSE) bzw. Lesen desselben, ist teilweise ein erster statischer Test der Modulketten möglich, ohne am Prozessanschlussfeld Signale zu simulieren.
Die Überprüfung des Analogeingabekomplexes erfolgt am Display durch Simulation von Eingangssignalen am Prozessanschlussfeld der BSE. Entsprechend des projektierten Gebertyps und des verwendeten Primärverarbeitungsmoduls sind die Parameter für die zu simulierenden Eingangssignale zu wählen. Bei der Überprüfung des projektierten Messbereiches sollte die Justage nach Möglichkeit an den KES des Analogeingabekomplexes und nicht softwareseitig am Primärverarbeitungsmodul vorgenommen werden. Dies ist notwendig, damit nach der Kopplung der Mikrorechnerautomatisierungsanlage mit dem konventionellen Teil die Messgenauigkeit der Geberkreise am Display überprüft und gegebenenfalls im Geberkreis korrigiert werden kann. Nur in Aussnahmefällen sollte eine softwareseitige Korrektur vorgenommen werden.

Zur Überprüfung der analogen Ausgangssignale werden an der Tastatur gegenläufig einige Werte eingestellt und am Prozessanschlussfeld messtechnisch nachgewiesen. Gegebenenfalls sind die Analogausgabe-KES zu justieren.

Durch Schalterzustände lassen sich die binären Eingangsgrössen am Prozessanschlussfeld simulieren und auf dem Bildschirm durch gesetzte Statusinformationen oder durch das Lesen des Inhaltes von binären Merkern nachweisen.
Bei binären Ausgangsgrössen wird umgekehrt verfahren. Der Signalzustand der binären Ausgangsgrössen kann durch Lampenfelder angezeigt werden.
Zur Überprüfung umfangreicher Steuerketten trennt man diese günstigerweise in einzelne Funktionsabschnitte, um die Prüfung zu erleichtern. In einem Prüfprogramm wird die Vorgehensweise festgelegt. Hierzu gehört die Einrichtung von zusätzlichen binären Merkern zur Ein- und Ausgangsbelegung der zu prüfenden Verarbeitungskettenteile. Durch sukzessives Vergrössern der Funktionsabschnitte erreicht man schliesslich den Nachweis der Funktion für die gesamte binäre Verarbeitungskette.
Setzt man voraus, dass zur Zeit der internen Funktionsproben Verdrahtungsfehler innerhalb der Funktionseinheiten beseitigt sind, so kann die Simulation der Eingangsgrössen bzw. der Nachweis der Ausgangsgrössen an der Prozessbuchse der KES realisiert werden. Mit Hilfe geeigneter Prüfeinrichtungen [2.3] lässt sich bei Verwendung entsprechender Prozesssteckertypen die Simulation rationell durchführen.

Die internen Funktionsproben sind für jede Kommunikationsstelle zu dokumentieren. Hierzu gehören die Simulationsbedingungen, die gewählten Simulationswerte und das Prüfergebnis. Bei Änderungen der objektabhängigen Software während der internen Funktionsproben sind die Stationsdaten fortlaufend zu aktualisieren. Über die Änderungen ist Nachweis zu führen.

2.1.3.2. Interne Funktionsproben am konventionellen Teil der Automatisierungsanlage

Eine wesentliche Voraussetzung für die Funktion einer Automatisierungsanlage mit Mikrorechner ist die projekt- und standardgerechte Montageausführung des konventionellen Automatisierungsanlagenteils.
Die internen Funktionsproben dieses Anlagenteils lassen sich in die des pneumatischen und hydraulischen Signalübertragungssystems und die des elektrischen unterteilen.
Für die pneumatischen und hydraulischen Signalleitungen sind Dichtigkeits- und Druckprüfungen vorzusehen. Es sind die Signalübertragung als auch die Funktion der mechanischen und elektromechanischen Automatisierungsgeräte wie Stellglieder, Messwertgeber, -verstärker, Stellungsgeber, Messwertwandler u.a. zu prüfen, da diese wesentlichen Einfluss auf die Dynamik von Messungen, Regelungen und Steuerungen haben. Durch die

geeignete Wahl der Simulationsbedingungen beim Funktionstest ist das statische und dynamische Verhalten dieser Übertragungsglieder im Sinne einer zu erfüllenden Gesamtfunktion zu werten und darauf Einfluss zu nehmen. Hierbei sind z.B. Ansprechschwellen, Hysteresen, Sättigungs- und Überschwingverhalten zu ermitteln. Die Messbereiche dieser Übertragungsglieder sind entsprechend der Projektvorgabe zu überprüfen und einzustellen. Eine softwareseitige Korrektur von Ungenauigkeiten im konventionellen Teil sollte nicht angestrebt werden. Simulationsbedingungen und -ergebnisse dieser internen Funktionsproben sind ebenfalls zu dokumentieren.
Die internen Funktionsproben für den elektrischen und elektronischen konventionellen Automatisierungsanlagenteil sind für eine zerstörungsfreie Kopplung mit der Mikrorechneranlage von grösster Bedeutung. Der elektrischen Störbeeinflussung der Mikrorechneranlage durch das konventionelle elektrische Leitungssystem und deren Übertragungsglieder gilt es bereits vorbeugend, durch standardgerechte Projekt- und Konstruktionsunterlagen, sowie durch eine fachgerechte Montageausführung, zu begegnen [2.4] .

Im einzelnen sind folgende Probleme zu beachten, bzw. Prüfungen durchzuführen:

- Vor der Montage sollten die Kabel aller Potentialgruppen, alle elektrischen Geräte, Geber und Gefässe auf ihren Isolationswiderstand überprüft werden.

- Bei der Kabelverlegung ist auf standardgerechte Potentialgruppentrennung zu achten.

- Entsprechend den Konstruktionsunterlagen sind der Leitungsdurchgang, die Klemmenbelegung und die Polarität zu prüfen.

- Es ist der Isolationswiderstand der verkabelten Anlage bei aufgelegten Klemmen nachzuweisen.

- Prüfung auf standardgerechte Ausführung des Schirmungs- und Schutzleitersystems.

- Eigensicherheitsprüfungen bei explosionsgefährdeten Anlagen

- Bei der Funktionsprüfung der Signalübertragungsglieder ist auch das statische und dynamische Verhalten zu untersuchen.

- Die Ergebnisse der Funktionsproben als auch die Simulationsbedingungen sind zu dokumentieren.

2.1.3.3. Kopplung des Prozessleitsystems 'audatec' mit der konventionellen Automatisierungsanlage

Der positive Abschluss der internen Funktionsproben für beide Anlagenteile und ein definierter Montagezustand des konventionellen Teils sind die Voraussetzung zur Kopplung.
Ein definierter Montagezustand besteht dann, wenn infolge Restmontage- und Prüfarbeiten nicht geklemmte Kabel definiert aufgelegt bzw. gegen Erdschluss gesichert sind.
Die Kopplung wird durch das Stecken der Prozessignalstecker auf die Prozesseingangs- und Prozessausgangskarteneinschübe in der BSE herbeigeführt.
Montage- und Prüfarbeiten am konventionellen Automatisierungsanlagenteil dürfen nach der Kopplung nur in Abstimmung mit dem Inbetriebsetzungspersonal der Mikrorechneranlage durchgeführt werden. Sind die entsprechenden Funktionsproben abgeschlossen, können nach der Kopplung sogenannte Schleifentests über die vollständigen Mess-, Stell- und Steuerkreise durchgeführt werden. Dabei werden in der technischen Anlage am Messort Messwerte simuliert, die am Bildschirm zur Anzeige kommen. Für die Stellkreise wird umgekehrt verfahren. Hierbei ist der Richtungssinn für die Stellgliedansteuerung zu prüfen.
Messbereichsabweichungen sollten am Messwertwandler justiert werden.
Die Schleifentests sind Voraussetzung für komplexe Funktionsproben und nachweispflichtig. Bei Softwareänderungen sind die Stationsdaten zu aktualisieren.

2.1.4. Komplexe Funktionsproben

Ziel der komplexen Funktionsproben ist die Freigabe der technologischen Anlage zum Probebetrieb.
Die Funktion der Automatisierungsanlage ist durch das Zusammenwirken des Informationsflusses über alle signalverarbeitenden Ebenen gegeben. Dieser Nachweis wird durch die komplexen Funktionsproben erbracht. Wegen der Komplexität der funktionellen Zusammenhänge zwischen den einzelnen Teilen und Ebenen des gesamten Informationsverarbeitungssystems sollte der IAG ein Programm für den funktionellen und zeitlichen Ablauf der komplexen Funktionsproben erstellen.
Bei komplexen Funktionsproben werden, ausser dem Signalfluss zwischen den einzelnen Informationsebenen, die Stelleinrichtungen, die Drehrichtung von Motoren, das Ansprechen von Sicherheitsschaltungen sowie die Funktion von Antriebs- und Förderaggregaten überprüft. Die Funktion der Mikrorechnerautomatisierungsanlage ist dabei Voraussetzung, da alle Bedienhandlungen und Anzeigen über das PLS realisiert und organisiert werden.
Die Ergebnisse der Funktionsproben sind zu dokumentieren. Mängel sind abzustellen und nach Beseitigung die Funktionsproben zu wiederholen. Die während der komplexen Funktionsproben gewonnenen Erkenntnisse sind in das Projekt einzuarbeiten. Gegebenenfalls sind die Stationsdaten zu aktualisieren.

2.1.5. Probebetrieb

Der Sinn des Probebetriebes besteht in der Anpassung der Automatisierungsanlage an den technologischen Prozess in der Art, dass die vom Projekt vorgegebenen Sicherheits-, Qualitäts- und Leistungsparameter für Anlage und Produkt zu erreichen sind.
Im Probebetrieb werden schrittweise Teile einer technologischen Anlage in Betrieb genommen, wie z.B. Hilfsenergiesysteme, Energie-, Stoffkreisläufe u.a..
Danach erfolgt der Probebetrieb der Gesamtanlage.
Bei aggressiven oder explosionsgefährdeten Medien wird in der ersten Phase des Probebetriebes oft mit Hilfsmedien gearbeitet. Durch die softwareseitige Lösung der Signalverarbeitung von Automatisierungsstrukturen bei Mikrorechnerautomatisierungsgeräten ist die Struktur- und Parameteränderung über Display und Tastatur unproblematisch. Die eingestellten Parameter sind hinsichtlich ihrer Genauigkeit reproduzierbar. Diese Vorteile sollten durch den Eisatz entsprechender Verfahren zur Struktur- und Parameteroptimierung beim Einfahren der Regelkreise genutzt werden. Voraussetzung dafür ist eine Signal- und Systemanalyse.
Beim Einsatz von Hilfsmedien während des Probebetriebes können die dynamischen Eigenschaften des Prozesses vom Original abweichen, so dass die Parameteroptimierung bei realen Verhältnissen wiederholt werden muss. Eventuell sind für bestimmte Untersuchungen und Fahrweisen der technologischen Anlage während des Probebetriebes die Grenzwerte in Abstimmung mit dem IAG und dem Betreiber der Anlage zu verändern.

Während der einzelnen Phasen des Probebetriebes sind nachfolgende Inbetriebnahmearbeiten durchzuführen:

2.1.5.1. Inbetriebnahme von Messungen

Verarbeitungsketten für Messungen werden im wesentlichen durch Basismodule der Eingangssignalanpassung, der Signalverarbeitung, des Signaltransportes und der Signalmeldung realisiert. Fast alle im voraus festzulegenden Parameter der dynamischen Basismodule tragen vorläufigen Charakter. Erst bei Kenntnis der Dynamik der realen Prozessignale ist es möglich, solche Parameter wie die Tastzeit, Zeitkonstanten, Integrationszeiten, Sinnfälligkeitsgrössen, Ansprechschwellen, Bewertungsfaktoren u.a. optimal festzulegen.
Bei der Ermittlung der Parameter für die Basismodule ist zu beachten, ob es sich um eine reine Messung oder um eine zu regelnde Prozessgrösse handelt. Für letztere müssen meist andere Anforderungen an die Parameter der Signalprimärverarbeitungsmodule und die Signalfilterung (siehe Abschnitt 3.1) gestellt werden.
Messwertfehler wie Messbereichsverschiebungen, die Ursachen in der Drift der konventionellen Übertragungsglieder haben, sollten durch wiederholte Justage dieser, und nicht durch die Messwertkorrektur am Primärverarbeitungsmodul, beseitigt werden.

2.1.5.2. Inbetriebnahme von Stellkreisen

Die Verarbeitungsketten der Stellkreise werden hauptsächlich durch die Basismodule der Signalverarbeitung, des Signaltransportes, der Signalmeldung und der Ausgangssignalanpassung realisiert. Ist der Stellkreis Bestandteil eines Regelkreises, so ist die Wahl der Parameter für die Basismodule auf die zu erzielende Regelkreisdynamik auszurichten.
Zu Beginn des Probebetriebes werden die technologische Anlage oder Anlagenteile von "Hand" in die verschiedenen Arbeitspunkte gefahren und im Arbeitspunkt stabil gehalten. Der Nachweis der Handfahrweise für die Stellkreise ist Voraussetzung für die stabile automatische Fahrweise der technologischen Anlage im Arbeitspunkt.

2.1.5.3. Einfahren von Regelkreisen

Nach der Inbetriebnahme der Mess- und Stellkreise kann mit dem Einfahren der Regelkreise begonnen werden. Zu Beginn ist eine Signal- und Systemanalyse durchzuführen. Es wird ein Konzept zur Durchführung der Regelstreckenidentifikation erarbeitet.
Es ist notwendig, bei Sachkenntnis zur Technologie des Prozesses, folgende Problemstellungen zu untersuchen:

- Dynamik der gemessenen Prozessignale, Messprinzip, Messfühlertyp, Messort

- Dynamik der Stellgrössen, Einfluss der Stellgrössen auf die Regelgrössen, Signalkopplungen über Energie- und Stoffströme

- Angriffspunkte und Dynamik der Störgrössen, Einfluss der Störgrössen auf die Regelgrössen

- Arbeitspunktverhalten des Prozesses, statisches Verhalten der Prozessgrössen

Die Wahl der Analyseverfahren zur Signal- und Systemidentifikation ist vom zu verwendenden Optimierungsverfahren, dem Regelalgorithmus (z.B. konventionell, nichtkonventionell) und von den am Prozess gegebenen praktischen Möglichkeiten zur Analyse abhängig.
Ausgehend vom diskretisierten PID-Algorithmus beim Prozessleitsystem 'audatec' wird vorgeschlagen, mit Hilfe aktiver Experimente Antwortfunktionen am Prozess zu erzeugen und z.B. nach der Wendetangentenmethode, der Zeitprozentmethode, oder dem halblogarithmischen Verfahren auszuwerten. Hierzu werden nach der Festlegung des Arbeitspunktes der Anlage und der zulässigen Stellamplitude über die Tastatur sprungförmige Stellgrössenänderungen realisiert. Bei trägen Regelstrecken kann mittels Trenddarstellung die Sprungantwort auf Auswertbarkeit beobachtet bzw. zu groben Abschätzungen verwendet werden (kleinster Erfassungszyklus ist 1s).
Zur Protokollierung der Antwortfunktion ist die Ausgabe über Drucker möglich oder es werden über Analogausgabekanäle des PLS analoge Schreibgeräte bedient. Die entsprechende Hardware wäre

im Projekt vorzusehen. Über eine zu strukturierende Basismodulkette kann die Ansteuerung eines analogen Schreibers so gestaltet werden, dass eine grafisch auswertbare Funktion aufgezeichnet wird (siehe Abschnitt 4.3.1).
Als Parameteroptimierungsverfahren lassen sich beim diskretisierten PID-Algorithmus auch die bekannten Verfahren für den analogen Reglertyp anwenden, wenn die Tastzeit $T_0 \leq T_{95} \cdot 1/100$ der Regelstrecke ist. Entsrechende Ausführungen folgen unter Abschnitt 3.2.1.1 .

Gewöhnlich ist das dynamische Verhalten der technologischen Prozesse nichtlinear. Da aber die allgemein bekannten Optimierungsverfahren der linearen Regelungstheorie angewendet werden, ist das Optimierungsergebnis nur für den betrachteten Arbeitspunkt zutreffend.
Durch Anwendung von Selftuning-Algorithmen kann dieser Nachteil, bei inkaufnahme anderer negativer Eigenschaften, umgangen werden (siehe auch Abschnitt 3.2.2).
Soll eine technologische Anlage über einen grösseren Leistungsbereich stabil fahren, kann dies auch durch eine Kennlinienanpassung an das statische Verhalten des Prozesses erreicht werden, was zu aufwendigeren Regelkreisstrukturen führt; sonst müssen Kompromisse bei der Parameteroptimierung eingegangen werden.
Wenn zwischen einzelnen Regelgrössen nichtvernachlässigbare Signalkopplungen auftreten, kann gegebenenfalls auf Kosten der Regelgüte technologisch untergeordneter Regelgrössen zur Entkopplung beigetragen werden; anderenfalls ist das Problem als Mehrgrössenregelung zu betrachten. Eine Möglichkeit der Behandlung eines Zweigrössenregelungssystems wird unter 3.2.3.2. aufgezeigt.

Da letztlich bei Prozessrechnern, wie auch beim Mikrorechnerautomatisierungssystem 'audatec', das Problem der Abtastung nicht ignoriert werden kann, wäre die Anwendung nichtkonventioneller Regelalgorithmen, wie z.B. digitale Regelalgorithmen 0-ter bis n-ter Ordnung , der Deadbeat-Regler und seine Modifikationen u.a., angebracht. Notwedigerweise ist dafür die Analyse der Regelstreckeneigenschaften sehr aufwendig, da die Koeffizienten der Differenzengleichung der Regelstrecke bzw. die der diskreten Übertragungsfunktion in die Regelkreisoptimierung eingehen.
Diesen Optimierungsaufwand auf ein praktikables Mass zu begrenzen bietet das Optimierungsverfahren nach Abschn. 3.2.1.2 oder der Einsatz eines Selftuning-Reglers nach 3.2.2.1 .
Ein quantitatver Nachweis der Regelgüte von Prozessgrössen ist mit der Streuungsberechnung entsprechend Abschnitt 4.3.2 gegeben.
Pinzipiell ist auch die Möglichkeit der Einbindung zusätzlicher Softwaremodule zu Problemen der digitalen Regelung, der Systemidentifikation und der digitalen Signalfilterung gegeben. Zu beachten ist dabei die Projektierungsvorschrift PV 25-02.13 zur Erstellung von Sonderbasismodulen.

2.1.5.4. Einfahren von Steuerungen und Sicherheitsschaltungen

Nach den Funktionsproben kann die automatische Steuerungseinrichtung an die Strecke angepasst werden. Durch Kennwertermittlung sind die statischen und dynamischen Eigenschaften des zu steuernden Objektes zu gewinnen, um die freien Parameter der Steuerung, wie Anzugsverzögerungen, Abfallzeiten, Hysteresen, Ansprechschwellen u.a. festlegen zu können.
Im wiederholten simulierten Störfall, durch Anfahren technologischer Grenzwerte, werden die Steuerketten und Sicherheitsschaltungen eingefahren, bis optimale Einstellwerte erreicht werden. Wird die Aufgabenstellung mit der projektierten Lösungsvariante nicht erreicht, ist die binäre Schaltung zu ändern und im Sinne der Aufgabenstellung zur Funktion zu führen (siehe Abschnitt 3.3).
Im Verlaufe des Probebetriebes müssen bei der Funkionserprobung aller Automatisierungsstrukturen oft die objektabhängigen Daten geändert werden. Die Stationsdatenträger sind deshalb nach Änderungen zu aktualisieren. Die Ergebnisse des Probebetriebes sind zu dokumentieren.

2.1.6. Leistungsnachweis

Nach erfolgreichem Probebetrieb schliesst sich der Leistungsnachweis der technologischen Anlage an. Über die Dauer eines vereinbarten Zeitraumes muss für die Gesamtanlage die nach Projekt ausgewiesene Leistung bei vorgegebener Qualität der Prozessgrössen und -parameter nachgewiesen werden.
Durch die Leistungsfahrt wird die stabile Funktion der gesamten technologischen Anlage dokumentiert.
Struktur- und Parameteroptimierung wurden während des Probebetriebes abgeschlossen.

3. Empfehlungen und Hinweise zur Inbetriebnahme und Parametrierung von Automatisierungsstrukturen

Aus der Vielfalt der Probleme bei der Inbetriebnahme von Automatisierungsstrukturen mit Mikrorechneranlagen sollen hier einige genannt werden, die spezifisch für das PLS 'audatec' sind. Diese Probleme sind in ihrer Allgemeinheit prinzipiell bei der digitalen Signalverarbeitung in Rechnerautomatisierungsanlagen zu beachten [3.1],[3.2],[3.3]

3.1. Parametrierung der Module zur Signalfilterung

Die Möglichkeiten zur Signalfilterung beim PLS 'audatec' sind durch zwei Kathegorien von Filteralgorithmen gegeben:

- Algorithmen, die der Differenzengleichung des entsprechenden analogen Filtergliedes ähnlich sind.
  Hierzu gehören die Tief- und Hochpassfilterung durch diskretisierte T1- und DT1-Glieder.

- Spezielle digitale Algorithmen mit tief- und hochpassähnlichen Filtereigenschaften wie z.B. die gleitende Mittelwertbildung und die "Subtraktion des gleitenden Mittelwertes".

Für die beim PLS 'audatec' verwendeten digitalen Filter wird der Einfluss der Einstellparameter auf die Filtereigenschaften der Softwaremodule dargestellt, da Abweichungen zu vergleichbaren analogen Filtern auftreten.

3.1.1. Tiefpassfilterung

Die Tiefpassfilterung kann beim PLS 'audatec' über das diskretisierte T1-Filter und die gleitende Mittelwertbildung vorgenommen werden.

3.1.1.1. T1-Filter und Exponentialglättung 1. Art

Die Basismodule für die Primärverarbeitung der Signale (PVLI, PVNL, PVKU und PVKS) enthalten die sogenannte Exponentialglättung 1. Art mit der Differenzengleichung

$$XA(i) = [\, XA(i-1) - XE(i) \,]\ GLATT + XE(i) \qquad (3.1)$$

mit $GLATT = 1 - To/T1$

XA : Ausgangsgrösse des Filters
XE : Eingangsgrösse des Filters
To : Tastzeit
T1 : Filterzeitkonstante

Für die weitere Betrachtung wird $To/T1 = \tau$ gesetzt.

Für die diskrete Übertragungsfunktion des Filters folgt somit

$$G_F(z) = \frac{XA(z)}{XE(z)} = \frac{\tau}{1 - (1 - \tau)\, z^{-1}} \qquad \text{•(3.2)}$$

Die für das Modul T1GL(T1-Glied) verwendete Differenzengleichung

$$XA(i) = XA(i-1) + [\, XE(i) - XA(i-1)\,]\ K \qquad (3.3)$$

ist mit $To/Ti = K = \tau$ identisch mit der Gleichung (3.1) und führt ebenfalls zu der diskreten Filterübertragungsfunktion nach Gleichung (3.2) .
Wird in Gleichung (3.2) für $z = e^{j\omega To}$ gesetzt, so folgen nach einigen Zwischenrechnungen die Gleichnungen für Amplituden- und Phasenkennlinie des digitalen Filters. Diese Frequenzkennlinien sind in den Bildern 3.1 und 3.2 dargestellt.

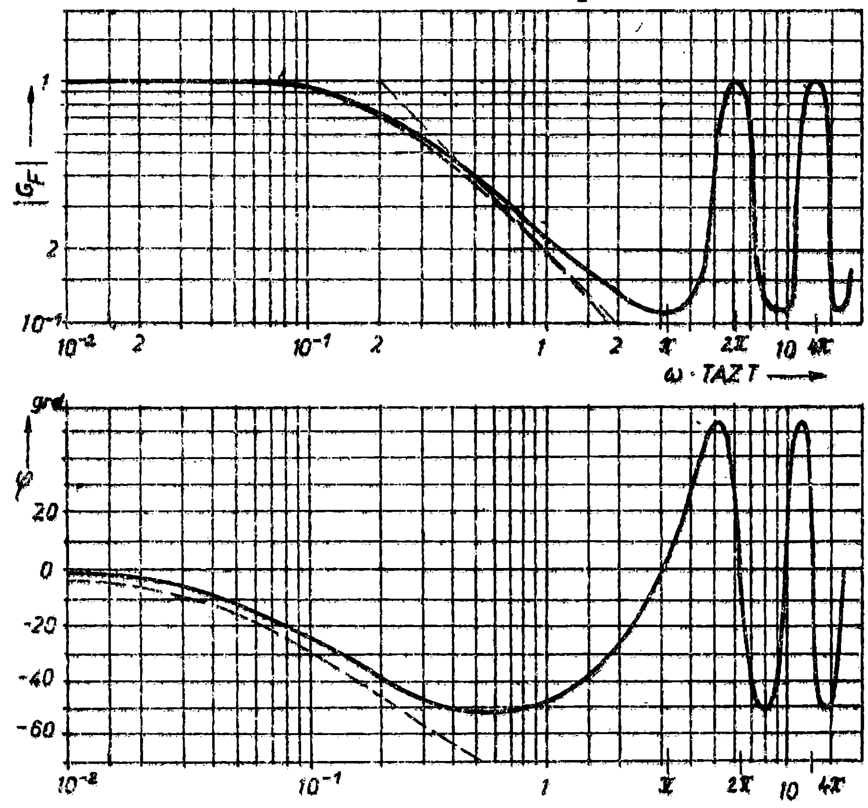


Bild 3.1. Amplituden- und Phasenkennlinien des zeitdiskreten Tiefpassfilters T1GL bzw. der Exponentialglättung für $\tau = 0{,}2$
gestrichelte Linien: analoges Tiefpassfilter T1-Glied

Der Verlauf der Kurven in Bild 3.1 zeigt für das digitale Filter gegenüber dem analogen Tiefpassfilter 1.Ordnung (gestrichelte Linien) im Bereich niederer Frequenzen eine zufriedenstellende Übereinstimmung. Für höhere Frequenzen kann das digitale Filter nicht eingesetzt werden.
Für den praktisch interessierenden Frequenzbereich ist das Verhalten des Tiefpassfilters im Bild 3.2 dargestellt.
Die Tastzeit TAZT ist beim Modul T1GL identisch der sonst allgemein dafür verwendeten Bezeichnung To.

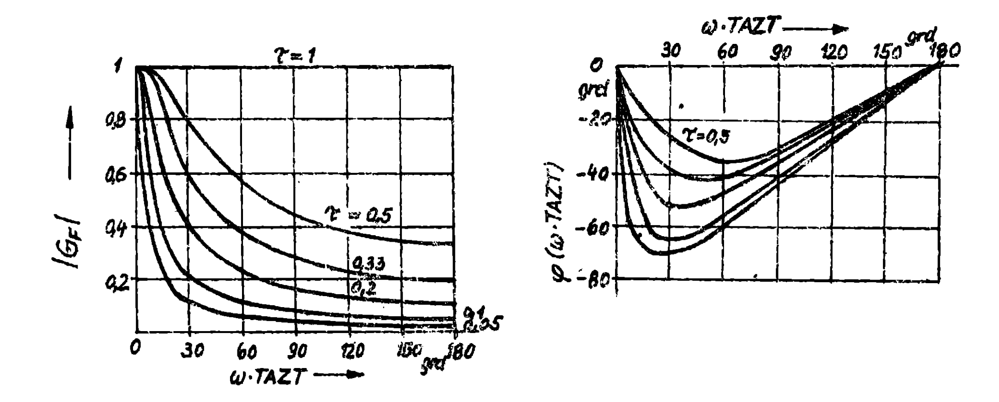


Bild 3.2. Amplituden- und Phasenkennlinien des zeitdiskreten Tiefpassfilters T1GL in Abhängigkeit von τ

Bei der Dimensionierung des Basismoduls T1GL wird günstigerweise von einer geschätzten Frequenzkomponente des zu filternden Signales ausgegangen.
Gegeben ist beispielsweise eine Frequenz von

$$f = 1/T = 0{,}333\ 1/s$$

Die Amplitude dieser Signalkomponente ist auf 1/20 ihres Eingangswertes durch das Modul T1GL zu dämpfen.
Aus den grafischen Darstellungen der Amplitudenkennlinien, entsprechend der Bilder 3.1 u. 3.2, ist ersichtlich, dass im interessierenden Frequenzbereich die maximale Dämpfung bei einem Abszissenwert von $\omega \cdot TAZT = \pi$ auftritt.
Daraus folgt für die Tastzeit im Punkt maximaler Dämpfung

mit $$\pi = \omega \cdot TAZT = 2 \cdot \pi \cdot f \; TAZT$$

für $$TAZT = \frac{1}{2\,f} = 1{,}5\ s$$

Entsprechend Bild 3.2 ist bei einem Tastzeit-Zeitkonstantenverhältnis von $\tau = 0{,}1$ die gewünschte Dämpfung erreichbar.
Die Zeitkonstante des Filters ist dann T1 = TAZT/0,1 = 15 s .
Wird davon ausgegangen, dass die Tastzeit nur in den vom System vorgegebenen Grenzen frei wählbar ist und im gegeben Beispiel

mit TAZT = 1 s festgelegt war, folgt

$$\omega \cdot TAZT = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot TAZT = 2 \cdot \pi \cdot 0{,}333 \cdot 1 = 2{,}1$$

Dieser Wert in Bogenmass entspricht einem Winkel von etwa 120°. Nach Bild 3.2 wird nun bei einem Wert τ = 0,05 die gewünschte Dämpfung (1/20 der Eingangsamplitude) erreicht. Die daraus resultierende Zeitkonstante des Filters ist T1 = 6,67 s .

3.1.1.2. Gleitende Mittelwertbildung

Vergleichbare Ergebnisse bei der Tiefpassfilterung werden durch die gleitende Mittelwertbildung erreicht. Folgende Bildungsvorschriften mit verschiedener Filtercharakteristik sind gebräuchlich [3.1] :

- Mittelwertbildung mit unendlichem Gedächtnis
- Mittelwertbildung mit 'eingefrorenem' Korrekturfaktor
- Mittelwertbildung mit nachlassendem Gedächtnis und
- Mittelwertbildung mit begrenztem Gedächtnis

Letztere kommt in den Modulen MW10 und MW60 des PLS 'audatec' zur Anwendung.
Beim Modul MW60 wird die Bildungvorschrift für den gleitenden Mittelwert der Form

$$XA(i) = XA(i-1) + \frac{1}{ANZ} \cdot [\, XE(i) - XE(i-ANZ) \,] \qquad (3.4)$$

verwendet.

ANZ : Anzahl der in die Mittelung eingehenden Werte
FA : Zeitabstandsfaktor (ganzzahlige Vielfache von TAZT)

Die z-Transformation der Gleichung (3.4) führt zur diskreten Filterübertragungsfunktion

$$G_F(z) = \frac{XA(z)}{XE(z)} = \frac{1}{ANZ} \cdot \frac{1 - z^{-ANZ}}{1 - z^{-1}} \qquad (3.5)$$

Wird in Gleichung (3.5) für $z = e^{j\omega To}$ gesetzt, wobei für das

Modul MW60 $To = TAZT \cdot FA$

und für das Modul MW10 $To = TAZT$ gilt.

Das Filterverhalten für diese gleitende Mittelwertbildung wird durch die Amplitudenkennlinie nach Bild 3.3 charakterisiert.

Das Tiefpassverhalten dieses Filters ist nur bis zu einer Frequenz $\omega \cdot To = 2 \cdot \pi / ANZ$ wirksam und zeigt in diesem Bereich eine härtere Bandbegrenzung als das Tiefpassfilter T1GL.
Störsignale mit Frequenzen von

$$To = n \cdot \pi / ANZ \quad , n = 2, 4, 6...$$

werden von diesem Filteralgorithmus vollständig ausgeblendet.

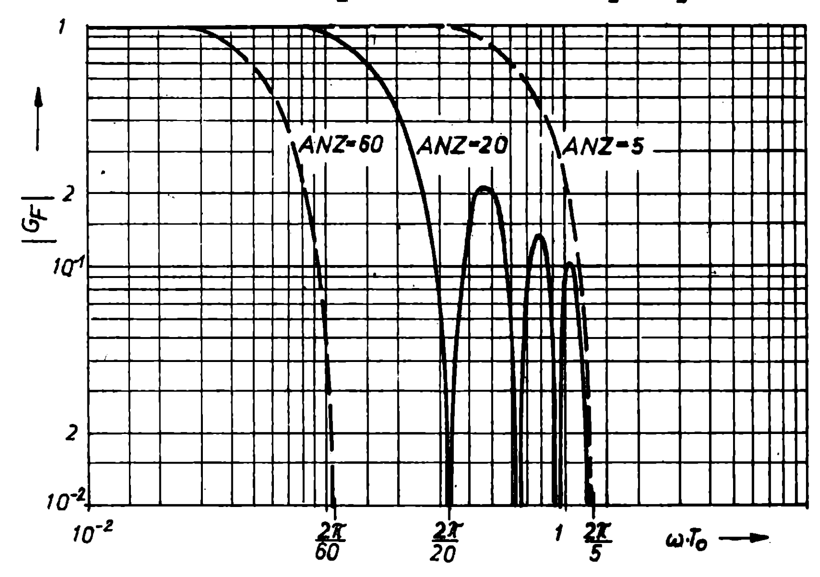


Bild 3.3. Amplitudenkennlinien für gleitende Mittelwertbildung der Module MW60 und MW10

Die Anzahl der in die Mittelwertbildung einbezogenen Abtastwerte sowie der Faktor FA für den Zeitabstand bestimmen entscheidend die Grenzfrequenz dieser Tiefpassfilterung.
Bei der Bemessung der Filter MW60 und MW10 kann wie folgt vorgegangen werden:
Gegebn ist die zu filternde Frequenz $f = 1/T = 0{,}05$ 1/s .
Aus Bild 3.3 folgt für den Punkt maximaler Dämpfung der Abszissenwert $\omega \cdot To = 2 \cdot \pi / ANZ$.
Die Tastzeit wird mit $To = 0{,}333$ s und der Zeitabstandsfaktor mit $FA = 3$ vorgegeben.
Es folgt für das Modul MW60 :

$$2 \cdot \pi / ANZ = \omega \cdot To = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot TAZT \cdot FA$$

$$ANZ = 1/(f \cdot TAZT \cdot FA) = 1/(0{,}05 \cdot 0{,}333 \cdot 3) = 20 \; .$$

Um in diesem Fall den Bereich des Filters mit Tiefpasscharakter zu nutzen, ist der Modulparameter $ANZ \leq 20$ zu wählen.
Unter Umständen ist es günstiger das Produkt $ANZ \cdot FA$ zu bestimmen. Für den interessierenden Frequenzbereich ist

$$ANZ \cdot FA \leq 1/(f \cdot TAZT) \; .$$

3.1.2. Hochpassfilterung

Möglichkeiten zur Hochpassfilterung bietet das System 'audatec' durch das Modul DT1G sowie durch Subtraktion des gleitenden Mittelwertes.

3.1.2.1. Hochpassfilterung durch das digitale Filter (DT1G)

Ausgehend von der verwendeten Differenzengleichung

$$XA(i) = D \cdot [\, XE(i) - INTA(i-1) \,] \qquad (3.6)$$

mit $INTA(i) = INTA(i-1) + K \cdot [\, XE(i) - INTA(i-1) \,]$

folgt für das Filter die diskrete Übertragungsfunktion

$$G_F(z) = \frac{XA(z)}{XE(z)} = \frac{D \cdot (1 - z^{-1})}{1 + (K - 1)\, z^{-1}} \qquad (3.7)$$

Die Parameter $D = T_D/T1$ und $K = \tau = To/T1$ sind zu dimensionieren. Es sind :

INTA: interne Grösse
T1 : Verzögerungszeit
T_D : Vorhaltzeit .

Entsprechend Gl.(3.7) folgen nach einigen Zwischenrechnungen die in den Bildern 3.4 u. 3.5 dargestellten Amplitudenkennlinien.

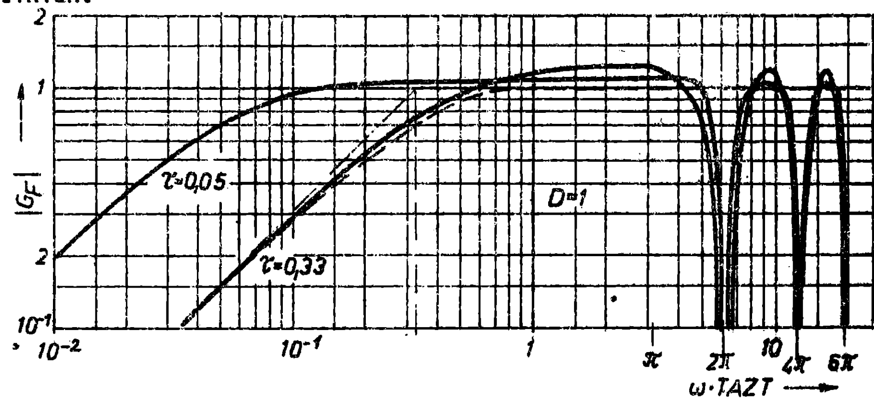


Bild 3.4 . Amplitudenkennlinien für Hochpassfilterung mittels Modul DT1G für D=1
gestrichelte Linie: analoges Filter mit T1 = 3 s .

Im Bereich hoher Frequenzen für

$$\omega \cdot TAZT = n \cdot \pi \quad , \quad n = 2, 4, 6, \ldots$$

wird der Wert der Amplitudenkennlinie = 0, das heisst, diese

Signalfrequenzen werden ausgeblendet. Im Bereich niederer Frequenzen verhält sich das digitale Filter näherungsweise wie das kontinuierliche.
Bild 3.5 zeigt die Amplitudenkennlinien in Abhängigkeit des Parameters τ = TAZT/T1 im Frequenzbereich $\omega \cdot TAZT \leq \pi$

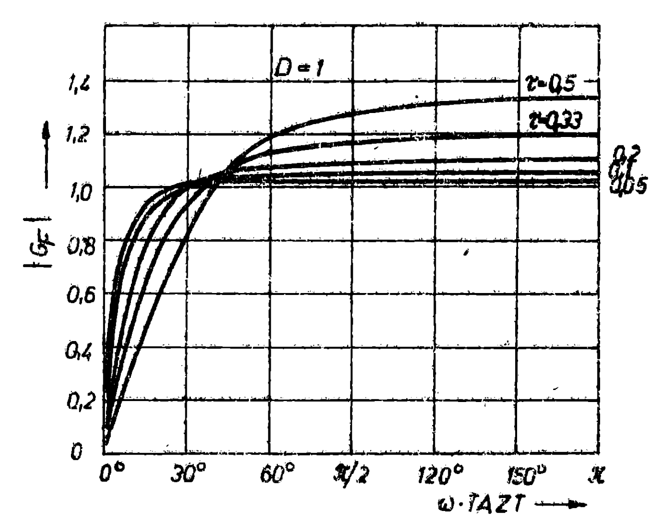


Bild 3.5. Amplitudenkennlinien des digitalen Hochpassfilters DT1G in Abhängigkeit von τ

Bei der Dimensionierung dieses digitelen Filters wird in ähnlicher Weise, wie bereits unter Abschn. 3.1.1.1 erläutert, vorgegangen.

3.1.2.2. Hochpassfilterung durch Subtraktion des gleitenden Mittelwertes

Durch die in Bild 3.6 angegebene Modulkette wird eine Hochpassfilterung durch die Subtraktion des gleitenden Mittelwertes vom aktuellen Funktionswert bewirkt. Wahlweise ist für die Berechnung des gleitenden Mittelwertes das Softwaremodul MW60 oder das Modul MW10 zu verwenden.
Ausgehend von Gleichung (3.4) für die gleitende Mittelwertbildung mit begrenztem Gedächtnis folgt für die Bildungsvorschrift dieser Hochpassfilterung die Gleichung

$$XA(i) = XE(i) - \{ XA(i-1) + \frac{1}{ANZ} \cdot [XE(i) - XE(i-ANZ)] \} \quad (3.8)$$

Die z-Transformation von Gl. (3.8) ergibt die diskrete Übertragungsfunktion für dieses digitale Hochpassfilter mit

$$G_F(z) = \frac{XA(z)}{XE(z)} = 1 - \frac{1}{ANZ} \cdot \frac{1 - z^{-ANZ}}{1 - z^{-1}} \quad (3.9)$$

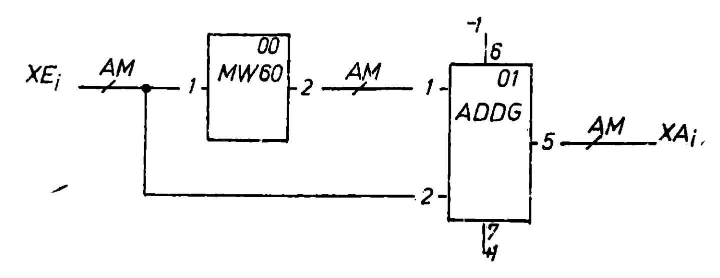


Bild 3.6 Modulschaltung für das digitale Hochpassfilter "Subtraktion des gleitenden Mittelwertes"

Amplitudenkennlinien für dieses Filter sind in Bild 3.7 dargestellt. Für die Tastzeit gilt in Abhängigkeit der eingesetzten Module:

To = TAZT · FA für das Modul MW60 und
To = TAZT für das Modul ~~MW10~~ .

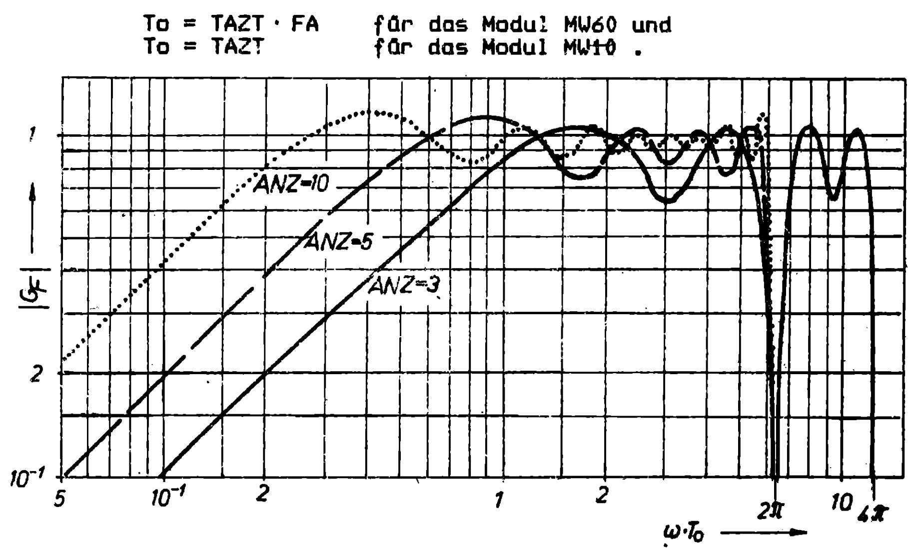


Bild 3.7 Amplitudenkennlinien des digitalen Hochpassfilters "Subtraktion des gleitenden Mittelwertes" in Abhängigkeit des Parameters ANZ

Aus Bild 3.7 ist zu erkennen, dass der praktisch nutzbare Bereich dieses Filters mit

$$\pi/ANZ \leq \omega \cdot To \leq 2\pi$$

angegeben werden kann. Entsprechend dieser Einschränkungen ist die Dynamik dieses Hochpassfilters durch die Parameter TAZT, FA und ANZ festzulegen.

Grundsätzlich gilt, dass Frequenzen, die grösser als die Shannon'sche Kreisfrequenz sind, nicht mit diesen digitalen Filtern bearbeitet werden können. Hier sind im Vorfeld der digitalen Signalverarbeitung geeignete analoge Filter einzusetzen.

3.2. Hinweise zur Optimierung von Regelkreisen

Das Einfahren von Regelkreisen prägt neben der Inbetriebnahme von Steuerungen wesentlich die Phase des Probebetriebes der technologischen Anlage. Bestimmte technische Arbeitsinhalte der Inbetriebnahme von Regelkreisen sind durch mathematische Modelle untersetzbar und wiederholen sich beim Inbetriebnahmeprozess unabhängig von der Technologie des Prozesses und des eingesetzten Automatisierungssystems. Die für die Durchführung dieser Arbeit notwendigen Voraussetzungen sind neben langjähriger praktischer Erfahrung, fundierte naturwissenschaftlich-technische als auch ökonomische Kenntnisse.
Die unterschiedliche Gestaltung der Funktion der Automatisierungssysteme, insbesondere die rechentechnische Realisierung von Automatisierungsfunktionen, wirft einige neue Aspekte beim Einfahren von Regelkreisen auf.
Beim PLS 'audatec' betrifft dies das Problem der optimalen Parametrierung der Softwaremodule der Regelkreise. Unter diesem Aspekt ist auch das Problem der Signalfilterung in Abschn. 3.1 zu sehen.
Die Beurteilung des dynamischen (optimalen) Verhaltens des Regelvorganges ist z.B. durch

- Gütekennwerte wie Überschwingweite, Ausregelzeit, Amplituden- und Phasenreserve u.a.(Optimierungsverfahren nach Reinisch, Frequenzkennlinienverfahren) oder

- universelle Regelgütekriterien (Integralkriterien) gegeben, die ihrerseits numerische Optimierungsverfahren bedingen.

Eine Übersicht über Regelgütekriterien zeigt Tabelle 3.1

Bezeichnung	Kontinuierlicher Bereich	Diskontinuierlicher Bereich (Rechteckregel)
Lineare Regelfläche I_L	$\int_0^\infty [xw(t)-xw(\infty)]\,dt$	$T_0 \sum_{k=0}^{\infty} (xw_k - xw_\infty)$
Quadratische Regelfläche I_Q	$\int_0^\infty xw(t)^2\,dt$	$T_0 \sum_{k=0}^{\infty} xw_k^2$
Betragslineare Regelfläche I_B	$\int_0^\infty \dot{xw}(t)\,dt$	$T_0 \sum_{k=0}^{\infty} \lvert xw_k \rvert$
Zeitgewichtete betragslineare Regelfläche I_{TAE}	$\int_0^\infty xw(t)\,t\,dt$	$T_0^2 \cdot \sum_{k=0}^{\infty} k \lvert xw_k \rvert$
Erweiterte quadratische Regelfläche I	$\int_0^\infty [xw(t)^2 + r \cdot y(t)^2]\,dt$	$T_0 \cdot \sum_{k=0}^{\infty} (xw_k^2 + r \cdot y_k^2)$

Tabelle 3.1 Regelgütekriterien

Der Nachweis sowie der Vergleich unterschiedlicher Optimierungsergebnisse an einem Regelkreis ist z.B. durch Streuungsberechnung der betrachteten Regelgrösse nach Abschn. 4.3.2 möglich.

3.2.1. Einschleifige Regelkreise mit dem Reglermodul RGL 01

Das Reglermodul RGL 01 sich bei kleinen Tastzeiten (klein im Verhältnis zu den dominierenden Zeitkonstanten der Regelstrecke) wie ein quasikontinuierlicher PID-Regler mit Verzögerung [3.3]. Wird ein geeignetes Optimierungsverfahren eingesetzt, ist dieses Reglermodul auch als digitaler Regler verwendbar.

3.2.1.1. Quasikontinuierlicher PID-Regler mit dem Modul RGL 01

Die Differenzengleichung für dieses Reglermodul lautet:

$$Y(i) = V \cdot XW(i) + YI(i) + YD(i) + ZA(i) \qquad (3.10)$$

Mit $YI(i) = YI(i-1) + KI\ XW(i)$

$YD(i) = VDT \cdot [\ XW(i) - U(i-1)\ ]$

$U(i) = U(i-1) + KDT \cdot [\ XW(i) - U(i-1)\ ]$ und

$XW(i) = X(i) - U(i) + ZE(i)$

folgt für die Differenzengleichung, bei $ZA(i)=ZE(i)= 0$, die rekursive Form

$$Y(i) = q_1 \cdot Y(i-1) + q_2 \cdot Y(i-2) + r_0 \cdot U(i) + r_1 \cdot U(i-1) + r_2 \cdot U(i-2). \qquad (3.11)$$

Die Parameter dieser Gleichung sind:

$q_1 = c-1$, $q_2 = -c$, $r_0 = V+KI+VDT$

$r_1 = V(c-1)+KI \cdot c-2 \cdot VDT$, $r_2 = VDT-V \cdot c$ und $c = KDT-1$

Für die Kennwerte des quasikontinuierlichen PID-Reglers mit Verzögerung, realisiert durch das Modul RGL 01 entsprechend Gl. (3.11), sind die Korrespondenzbeziehungen zu den Kennwerten der vergleichbaren analogen Reglerstrukturen in der Tabelle 3.2 dargestellt.
Bei der Betrachtung dieses Reglermoduls als quasikontinuierlichen Regler können die allgemein bekannten Optimierungsverfahren, wie das Frequenzkennlinienverfahren, das Verfahren nach Reinisch u.a., die für die analogen Regler gelten, einschliesslich der bisher bekannten Einstellregeln für quasikontinuierliche Regler, angewendet werden. Die zu verwendenden Regelstreckenanalyseverfahren sind vom Optimierungsverfahren bzw. von den am Prozess gegebenen praktischen Möglichkeiten abhängig.

	Analoge Reglerstruktur		
	$F_R(p)=K_R(1+\frac{1}{T_N p}+\frac{T_V p}{1+T_1 p})$	$F_R(p)=K_R(1+\frac{1}{T_N p}+T_V p)$	
Parameter des Moduls RGL01	mit Näherung nach [3.1]	nach "Rechteckregel links"	nach "Rechteckregel rechts"
V	$K_R(1-\frac{T_0}{2T_N})$	$K_R(1-\frac{T_0}{T_N})$	K_R
KI	$K_R\cdot\frac{T_0}{T_N}$	$K_R\cdot\frac{T_0}{T_N}$	$K_R\cdot\frac{T_0}{T_N}$
VDT	$K_R\cdot\frac{T_V}{T_0}\cdot KDT$	$K_R\cdot\frac{T_V}{T_0}$	$K_R\cdot\frac{T_V}{T_0}$
KDT	$\frac{1}{0{,}5+T_1/T_0}$	1	1

Tabelle 3.2 . Korrespodenz der Kennwerte des quasikontinuierlichen Reglermoduls RGL 01 zu den Kennwerten analoger Reglerstrukturen

Einige Hinweise zu Optimierungsverfahren für quasikontinuierliche Regler.

- Das Frequenzkennlinienverfahren (FV):

  Dieses Optimierungsverfahren ist z.B. in [3.4] ausführlich beschrieben. Die beim FV anzusetzende Reglergleichung für den PID-Regler (günstig für die Bearbeitung auf logarithmischem Papier) lautet:

$$F_R(p) = \frac{\tau_I}{p}(1 + T_{D1}\cdot p)\cdot(1 + T_{D2}\cdot p) \qquad (3.12)$$

  Durch das FV werden die Reglerparameter

$$\tau_I\ ,\ T_{D1}\ \text{und}\ T_{D2}$$

  für vorgegebene Gütekennwerte bestimmt. Die allgemein bekannte Form der Gleichung des PID-Reglers ist:

$$F_R(p) = K_R\cdot(1 + \frac{1}{T_N\cdot p} + T_V\cdot p)$$

  Über Koeffizientenvergleich ergeben sich die Umrechnungsbeziehungen für die Parameter zwischen beiden Reglergleichungen mit

$$K_R = \tau_I\cdot(T_{D1}+T_{D2})\ ,\ T_N = (T_{D1}+T_{D2})\ \text{u.}\ T_V = (T_{D1}\cdot T_{D2})/(T_{D1}+T_{D2}).$$

  Die weitere Umrechnung auf die Parameter des RGL01 erfolgt nach Tabelle 3.2 Spalte 2 .

Soll in die Regelkreisoptimierung bei quasikontinuierlicher Betrachtungsweise die Dynamik des Abtastvorganges einbezogen werden, so kann dies näherungsweise durch ein Totzeitglied mit der Totzeit T_t = To/2 ereicht werden. Der Tastvorgang wird multiplikativ durch den Ausdruck

$$e^{-pTo/2}$$

bei der Regelstreckenübertragungsfunktion berücksichtigt, so dass für die in die Optimierungsbetrachtung eingehende resultierende Übertragungsfunktion der Regelstrecke folgt

$$F_{Sr}(p) = F_S(p) \cdot e^{-pTo/2} \tag{3.13}$$

Dieses Totzeitglied mit T_t = To/2 zeigt in der Dynamik eine gute Übereinstimmung mit dem Halteglied 0.Ordnung, welches den Abtastvorgang mathematisch beschreibt.
Die Frequenzkennlinien des Haltegliedes sind im Bild 3.8 denen des Totzeitgliedes gegenübergestellt.

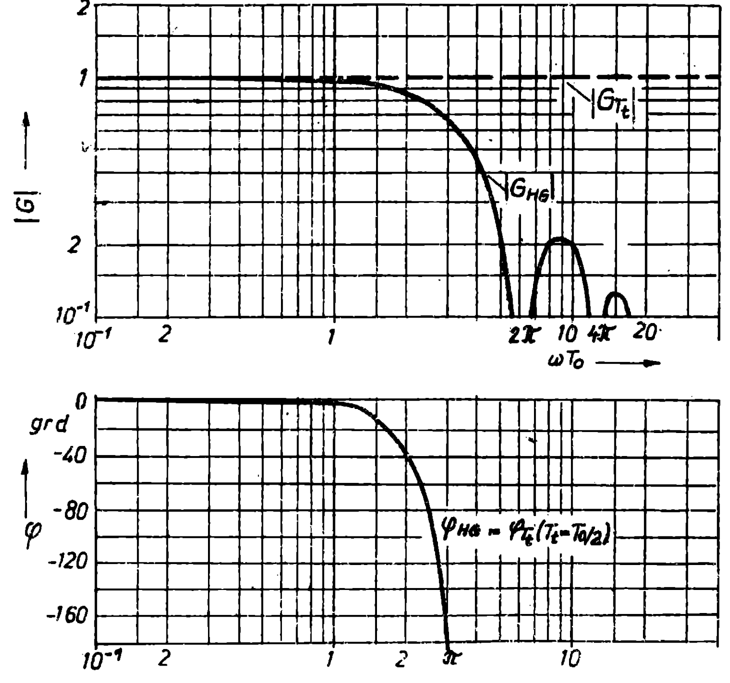


Bild 3.8 Amplituden- und Phasenkennlinien des Totzeitgliedes mit T_t = To/2 und des Haltegliedes 0.Ordnung

Der Vorteil der Anwendung des Frequenzkennlinienverfahrens liegt sowohl in seiner ingenieurmässigen Handhabung (unter Baustellenbedingungen können oft schon durch skizzenhafte

Durchführung dieses Optimierungsverfahrens wesentliche Erkenntnisse über die Dynamik des zu optimierenden Regelkreises gewonnen werden) als auch darin, dass ausser den quantitativen Ergebnissen auch qualitative zu Strukturlösungen gewonnen werden. Das Verfahren ermöglicht es, die Dynamik aller an der Signalverarbeitung beteiligten Übertragungsglieder des Regelkreises sowohl in die Parameter- als auch in die Strukturoptimierung einzubeziehen.
Die unter Abschn. 3.1 getroffenen Aussagen zum Frequenzverhalten der digitalen Filteralgorithmen können bei Bedarf bewusst in die Frequenzgangbetrachtungen des Regelkreises einbezogen werden.
Es sei darauf hingewiesen, dass das Frequenzkennlinienverfahren, basierend auf der Betrachtung von Amplituden- und Phasenkennlinien, bei den vorgegebenen Gütekennwerten wie Amplituden- und Phasenreserve, mit vertretbarem Aufwand zu guten Ergebnissen führt. Die Frequenzkennlinienbetrachtung anhand von Betrags- und Argumentenkennlinien führen insgesamt zu quantitativ genaueren Aussagen. Hier muss im Einzelfall zwischen Aufwand und Ergebnis abgewogen werden.

- Das Optimierungsverfahren nach Reinisch [3.5],[3.6] :

  Das Verfahren zur Bestimmung der Reglerkennwerte basiert auf der Vorgabe eines Gütewertes für die Überschwingweite der Regelgrösse.
  Über Näherungsformeln werden die Reglerparameter für einen gewünschten Dämpfungsgrad bestimmt. Das Bemessungsverfahren ist für verzögerte Regelstrecken mit und ohne Ausgleich, nicht aber für Strecken mit Allpassverhalten und mit Einschränkungen für Regelstrecken mit kleinen Vorhaltzeitkonstanten, anwendbar.
  Qualitative Aussagen zur Regelkreisdynamik sowie zu Strukturlösungen können mit dem Verfahren nach Reinisch nicht gewonnen werden. Hier ist das Frequenzkennlinienverfahren bei entsprechendem Mehraufwand anzuwenden.
  Die Bemessungsvorschriften nach Reinisch für den PID-Regler basieren ebenfalls auf Gl.(3.12) , so dass auch hier eine Umrechnung der optimalen Reglerparameter von Gl.(3.12) auf die des Moduls RGL01 erfolgen muss. Für die Berücksichtigung der Tastzeit To bei diesem Optimierungverfahren durch ein angenähertes Totzeitglied gilt auch hier der Ansatz nach Gl.(3.13) .

- Einstellregeln nach Blumbach [3.2] :

  Für quasikontinuierliche PI- und PID-Regler werden von Blumbach für Regelstrecken mit Tiefpasscharakter die in den Tabellen 3.3 und 3.4 angegebenen Bemessungsvorschriften vorgeschlagen.
  Die Reglerbemessung ist vorrangig auf günstiges Störverhalten bei sprungförmigen Störungen am Eingang der Regelstrekke orientiert. Die Bemessungsvorschriften wurden für zwei unterschiedliche Gütekriterien, die quadratische Regelfläche und die zeitgewichtete betragslineare Regelfläche (siehe auch Tabelle 3.1) angegeben.
  Die Regelstrecken vom Typ PT_1T_t (siehe Tabelle 3.4)

repräsentieren proportionales Verhalten mit einer grossen und vier kleinen Zeitkonstanten. Die Parameter a und τ_a ergeben sich aus der Übergangsfunktion der Regelstrecke (siehe auch Bild 3.10) mit

$$a = Tu/Ta \qquad \text{und} \qquad \tau_a = To/Ta$$

Tu: Verzugszeit
Ta: Ausgleichszeit
To: Tastzeit (TAZT) .

	I_Q	I_{TAE}
K_R	$\dfrac{1{,}2}{(1+3a^{1{,}65})(a+0{,}8\,\tau_a)}$	$\dfrac{0{,}98}{(1+5b^{1{,}3})(a+0{,}9\tau_a)}$
$\dfrac{K_R T_a}{T_N}$	$\dfrac{0{,}23}{b\left[a+(1{,}1-1{,}7b)\tau_a\right]}$	$\dfrac{0{,}192}{b\left[a+(1{,}22-2b)\tau_a\right]}$

Tabelle 3.3 . Einstellregeln für quasikontinuierliche PI-Regler an Strecken mit Tiefpasscharakter.

	I_Q	I_{TAE}
K_R .	$\dfrac{1{,}89}{(1+3{,}5a^2)\left[a+(2{,}2+6a)\tau_a\right]}$	$\dfrac{1{,}82}{(1+4a^{1{,}7})\left[a+(2{,}5+a)\tau_a\right]}$
$\dfrac{T_N}{T_a}$	$\dfrac{a}{a+1}+(0{,}75-5a^2)\tau_a$	$(1-0{,}85a)2a+(0{,}85-1{,}2a)\tau_a$ für $a \leq 0{,}3$ $(1-0{,}85a)2a$ für $a > 0{,}3$
$\dfrac{T_V}{T_a}$	$(1+1{,}25a)\,0{,}8a+(0{,}5+1{,}5a)\tau_a$	$(1+a)\,0{,}6a+(0{,}22-0{,}55a)\tau_a$

Tabelle 3.4 . Einstellregeln für quasikontinuierliche PID-Regler an PT_1T_4-Strecken .

Für die Parameter a und τ_a gelten folgende Einschränkungen

$$a = 0{,}05 \;...\; 0{,}4 \qquad \text{und} \qquad \tau_a = 0{,}001 \;...\; 0{,}2$$

Bei PT_1T_4-Strecken ist in Tabelle 3.3 $b = a$ zu setzen.

Für Regelstrecken vom Typ PT_1T_3, PT_1T_2, und PT_n muss der Parameter b nach der Gl.

$$b = Tr/Ta + 0{,}68\,(1-c)$$

berechnet werden, wobei die Korrekturgrösse c aus dem Diagramm Bild 3.9 abzulesen ist. Es gilt $Tr \ll Tu$.

Die Umsetz- und Rechenzeit Tr kann für das System 'audatec' mit maximal 0,333 s angenommen werden.

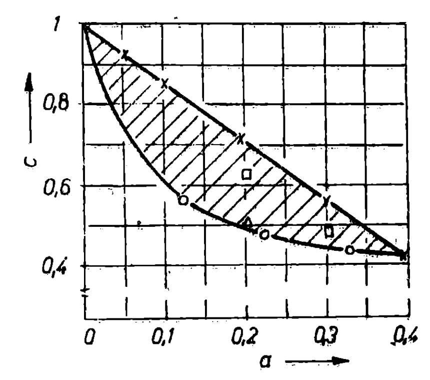


Bild 3.9 Präzisierung der Einstellregeln nach Tabelle 3.3 durch den Korrekturwert c für verschiedene Typen von Tiefpassregelstrecken

Die Korrespondenz der ermittelten Reglerparameter nach Blumbach zum Reglermodul RGL01 des PLS 'audatec' ist durch die Beziehungen in der rechten Spalte der Tabelle 3.2 gegeben.

- Das schon länger bekannte Einstellverfahren für quasikontinuierliche PI- und PID-Regler an Tiefpassregelstrecken nach Takahashi [3.7] führt meist zu schwach gedämpften Übergangsverhalten. Es kann für das Reglermodul RGL01 aufgrund des im Ansatz verwendeten unterschiedlichen Regelalgorithmus nicht angewendet werden.

Zum Problem der Aufnahme von Kennlinien zur Analyse der Regelstreckendynamik bietet das PLS 'audatec' mehrere Möglichkeiten. Es können über die Tastatur durch Änderungen der Stellgrösse Sprungantworten erzeugt werden, die über

- Trenddarstellung (siehe auch Doppeltrenddarstellung in Abschn. 4.3.3)
- analoge Schreiberaufzeichnungen (siehe Abschn. 4.3.1) oder
- Protokolldrucker

zur Auswertung vorliegen. Entsprechende Ausfürungen zu Regelstreckenanalyseverfahren sind u.a. in [3.8] zu finden.
Denkbar wäre auch, für die Zeit des Probebetriebes, das Reglermodul SFTR (Abschn. 3.2.2.1) zur Optimierung an Regelstrecken einzusetzen. Nachteilige Effekte bezüglich Rechenzeit- und Speicherplatzbelastung sind zu bedenken.
In vielen Fällen sind die bestehenden Möglichkeiten ausreichend, da oft schon die Kenntnis von Verzugs- ,Ausgleichszeit und Verstärkungsfaktor genügen, um bestimmte Optimierungsverfahren, wie auch der folgende Punkt zur Optimierung eines Abtastreglers zeigt, anwenden zu können.

3.2.1.2. Zeitdiskreter parameteroptimierter Regler 2.Ordnung mit dem Reglermodul RGL 01

Ausgehend von Gl.(3.11) und dem Parameter KDT = 1 folgt für die diskrete Übertragungsfunktion des Reglers RGL 01

$$G_R(z) = \frac{Y(z)}{XW(z)} = \frac{r_0 + r_1 z^{-1} + r_2 z^{-2}}{1 - z^{-1}} \qquad (3.14)$$

Die Parameter r_0, r_1 und r_2 sind in Abhängigkeit der Tastzeit und der Regelstreckeneigenschaften zu bestimmen. Das dynamische Verhalten des Reglers ergibt sich aus der Wahl seiner Parameter und ist nicht an die PID-Struktur gebunden. Nur unter bestimmten einschränkenden Bedingungen für die Parameter ist durch Gleichung (3.14) ein PID-ähnliches Verhalten realisierbar. Eine solche Verfahrensweise wäre dem Problem der digitalen Regelung abträglich, da dann die Vorteile digitaler Regelalgorithmen, wie z.B. die Verwendung relativ grosser Tastzeiten bei ausreichender Regelgüte und die Verringerung von Rechenzeit- und Speicherplatzbedarf, nicht wirksam werden.
Nachteilig bei zeitdiskreten Regelungssystemen ist,dass das Optimierungsproblem beim Einsatz von Gütekriterien kaum ohne Hilfe numerischer Methoden lösbar ist.
Ein weiteres Problem besteht in der Ermittlung der Regelstreckeneigenschaften. Bestimmte Optimierungsverfahren setzen die Kenntnis der Koeffizienten der Differenzengleichung bzw. die der z-Transformierten der Regelstrecke voraus.

Durch Isermann [3.1] ist für einen einschleifigen Regelkreis nach dem Gütekriterium

$$S_{xw}^2 = \sum_{k=0}^{m} [XW_k^2 + r \ Y_k^2] = MIN \ !$$

eine rechnergestützte Regelkreisoptimierung durchgeführt worden. Ein Abtastregler 2. Ordnung entsprechend Gleichung (3.14) und eine Regelstrecke mit Ausgleich der Struktur

$$F_s(p) = \frac{1}{(1 + pT_\vee)^n} \qquad (3.15)$$

wurden zur Simulation verwendet.

Die Ergebnisse dieser rechnergestützten Regelkreisoptimierung lassen sich auf den digitalen Regelalgorithmus des Moduls RGL 01 umrechnen und führen so zu einer unkomplizierten, zeitsparenden Einstellvorschrift für das Modul RGL 01 als parameteroptimierter Abtastregler 2. Ordnung bei phasenminimalen Regelstrecken mit Ausgleich. Diese Einstellvorschrift wird wie folgt angewendet:

- Aus der gemessenen Übergangsfunktion h(t) des Prozesses werden die Verzugszeit T_u, die Ausgleichszeit T_a, der Verstärkungsfaktor K_s und falls erforderlich die Totzeit T_t ermittelt.

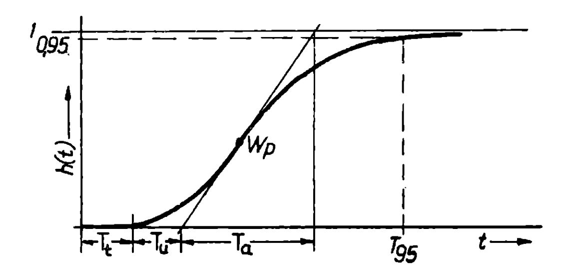


Bild 3.10 Übergangsfunktion h(t)

- Es wird das Verhältnis T_u/T_a bzw. bei Regelstrecken mit Totzeit das Verhältnis $(T_t + T_u)/T_a$ gebildet.

  Für die gemittelte Zeitkonstante T folgt aus Diagramm Bild 3.11, Seite 38

$$T = 1/2\ (T' + T'')$$

- Die Kennwerte des Reglermoduls RGL 01 errechnen sich aus

$$V = \frac{V_0}{K_s}\ ,\ KI = \frac{KI_0}{K_s}\ ,\ VDT = \frac{VDT_0}{K_s}\quad \text{und}\quad KDT = 1$$

  Dazu werden die Grössen V_0, KI_0, und VDT_0 in

  Abhängigkeit des zu wählenden Verhältnisses Tastzeit zu gemittelter Zeitkonstante To/T und Stellgrössenwichtungsfaktor r aus den Diagammen Bild 3.12 bis 3.14, Seite 39 bis 41 , entnommen. Siehe Beispiele 1 u.2 auf Seite 38

Die Kennlinien Bild 3.12 bis Bild 3.14 sind für den Regelstreckentyp

$$F_s\ (p) = \frac{K_s}{(1 + pT)^n}$$

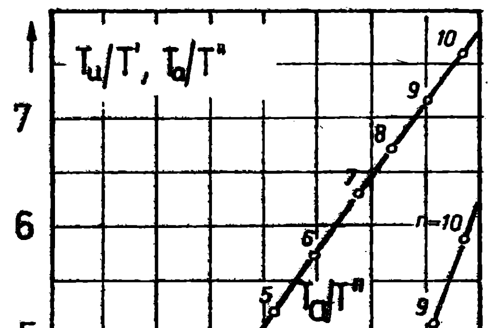
ermittelt worden, sie sind aber auch problemlos für die Struktur

$$F_s\ (p) = \frac{K_s}{(1+pT_1)(1+pT_2)\dots(1+pT_n)}\ e^{-pT_t}$$

anwendbar, siehe auch Beispiel 2 auf Seite 38

<u>Hinweis:</u> Es sind für das Modul RGL 01 bei dem obigen Optimierungsverfahren grundsätzlich die vier Reglerparameter V, KI, VDT und KDT zu bestimmen und über die Tastatur einzutragen. KDT ist mit dem Wert = 1,0 vorgegeben.





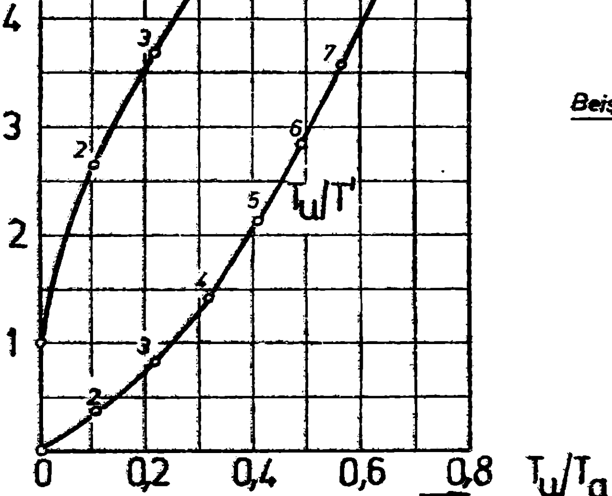


Bild 3.11. Kennwerte von Verzögerungsgliedern n-ter Ordnung mit gleichen Zeitkonstanten. $F(p) = 1/(1+Tp)^n$ aus [3.1]

<u>Regelkreisoptimierung</u>

<u>Beispiel 1:</u> Aus der Übergangsfunktion ermittelt: $T_u = 3s$, $T_a = 9s$ u. $K_S = 1$

es folgt $T_u/T_a = 0{,}33$ u. $n = 4$ (Bild 3.11)

nach Bild 3.11 ist $T_u/T' = 1{,}4$ u. $T_a/T'' = 4{,}5$ ⟶ $T' = 2{,}14$ u. $T'' = 2$

die gemittelte Zeitkonstante $T = 1/2\,(T' + T'') \approx 2\,s$

⟶ Näherung für F_S: $F_S(p) \approx \frac{1}{(1+2p)^4}$

werden $T_0/T = 0{,}1$ u. $r = 0$ gewählt, folgt aus Bild 3.12 bei $K_S = 1$

$V_0 = V = 1{,}85$, $KI_0 = KI = 0{,}12$, $VDT_0 = VDT = 58$, $KDT = 1$, $T_0 = 0{,}33s$

die Gleichung der Modellregelstrecke war $F_S(p) = \frac{1}{(1+3p)^4}$

<u>Beispiel 2:</u> Aus der Übergangsfunktion ermittelt: $T_u = 3s$, $T_a = 12s$ u. $K_S = 0{,}5$

es folgt $T_u/T_a = 0{,}25$ u. $n = 3$

nach Bild 3.11 ist $T_u/T' = 1$ u. $T_a/T'' = 4$ ⟶ $T' = 3$ u. $T'' = 3$

die gemittelte Zeitkonstante $T = 3s$

⟶ Näherung für F_S: $F_S(p) = \frac{0{,}5}{(1+3p)^3}$

werden $T_0/T = 1{,}0$ u. $r = 0{,}1$ gewählt, folgt aus Bild 3.10 bei $K_S = 0{,}5$

$V = \frac{V_0}{K_S} = \frac{0{,}8}{0{,}5} = 1{,}6$, $KI = \frac{KI_0}{K_S} = \frac{0{,}47}{0{,}5} = 0{,}94$, $VDT = \frac{VDT_0}{K_S} = \frac{1{,}1}{0{,}5} = 2{,}2$,

$KDT = 1$ u. $T_0 = 3\,s$; die Gleichung der Modellregelstrecke war

$$F_S(p) = \frac{0{,}5}{(1+1p)(1+10p)(1+3p)(1+1p)}$$

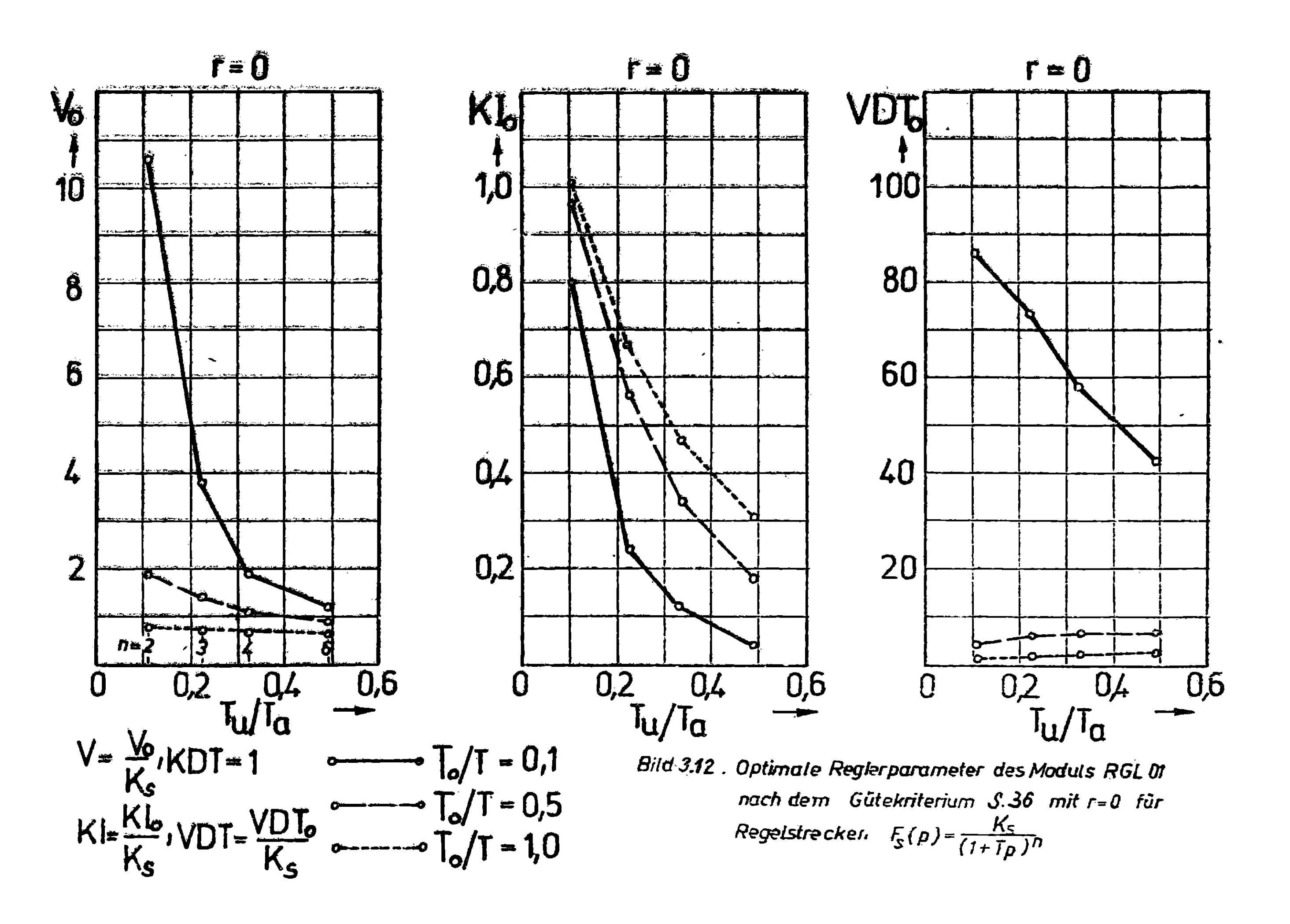


Bild 3.12. Optimale Reglerparameter des Moduls RGL 01 nach dem Gütekriterium S. 36 mit r = 0 für Regelstrecken $F_S(p) = \frac{K_S}{(1+Tp)^n}$

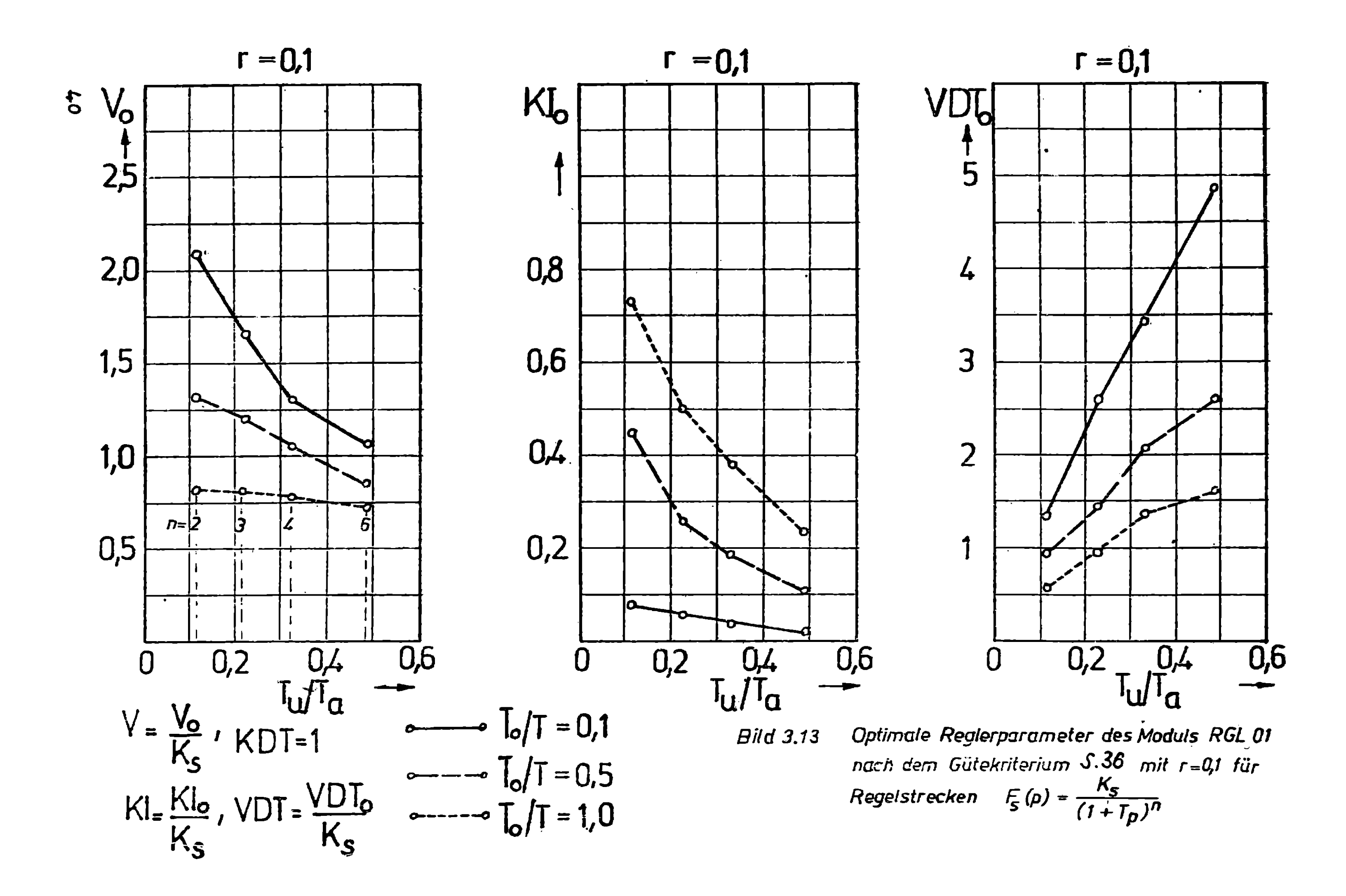


Bild 3.13 *Optimale Reglerparameter des Moduls RGL 01 nach dem Gütekriterium S.36 mit r=0,1 für Regelstrecken* $F_S(p) = \frac{K_S}{(1+T_p)^n}$

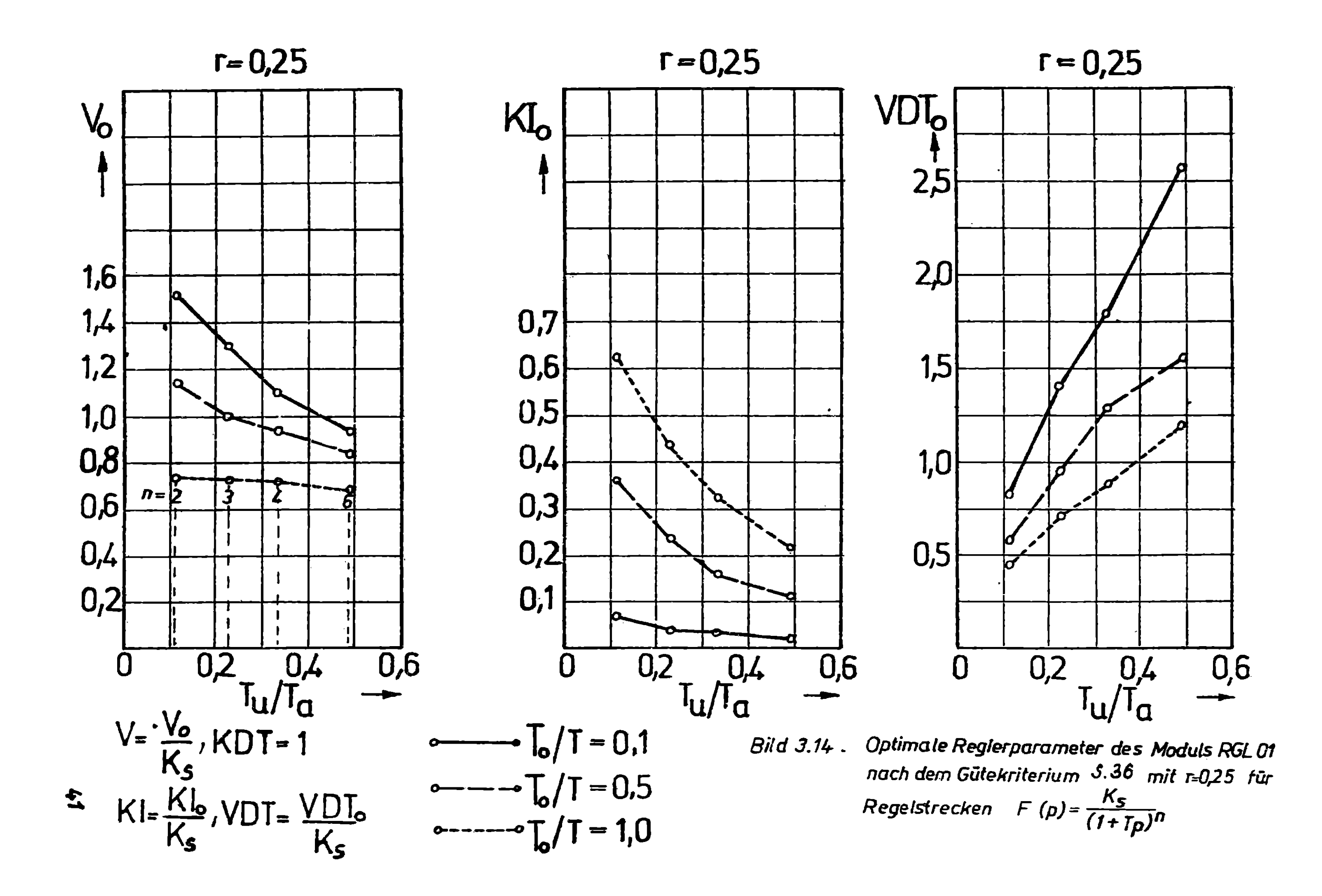


Bild 3.14. Optimale Reglerparameter des Moduls RGL 01 nach dem Gütekriterium S.36 mit r=0,25 für Regelstrecken $F(p) = \frac{K_s}{(1+Tp)^n}$

Hinweis zur Ansteuerung unstetiger Stellantriebe:

Das in der Einstellvorschrift angegebene Optimierungsverfahren für das Reglermodul RGL 01 gilt streng genommen nur für stetig angesteuerte Stellantriebe.

Beispiel:

RGL 01 - STA1 - AA 1 - Systemwandler - Membranstellantrieb; Notrep - Modact-Var.

Für Anwendungsfälle einer unstetigen Stellgliedansteuerung - z. B.:

RGL 01 - STAU - BA - Relaissteuerung und Modact-Konst. oder Klimact und ähnliche Antriebe

kann die Optimmierungsvorschrift dann mit hinreichender Genauigkeit angewendet werden, wenn der sogenannte Stellregelkreis (siehe Bild 3.15)

PVLI - STAU - BA - Antrieb

gegenüber dem Modul RGL 01 und seiner sonstigen Verarbeitungskette in einer Zeitscheibe mit kleinerer Tastzeit betrieben wird und so als quasistetiges Stellglied betrachtet werden kann. Dazu ist es notwendig, das Reglermodul und die unstetige Stellgliedansteuerung "PVLI - STAU - BA" jeweils einer anderen KOM-Stelle zuzuordnen(siehe Bild 3.15).
Diese Verfahrensweise würde auch im Sinne der Optimierung des RGL - Moduls als Abtastregler liegen, da die Einordnung des Moduls und seiner Verarbeitungskette in die TAZT 2 oder TAZT 3 zur Entlastung des Grundtaktes führt.

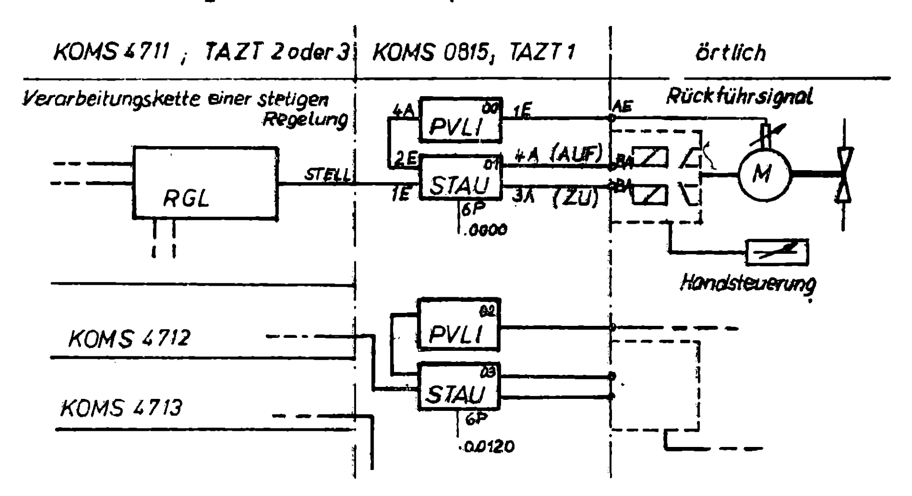


Bild 3.15 Strukturvorschlag für die die Einbindung des RGL-Moduls als digitaler Regler zur Ansteuerung unstetiger Stellantriebe

3.2.2. Adaptive Regler

Das PLS 'audatec' bietet zwei komfortable adaptive Regler als Sondersoftwaremodule an, einen

- Self-Tuning-Regler (Reglermodul SFTR) und einen
- modelladaptiven Regler (Reglermodul ADRG 01)

Die adaptiven Regler sind bevorzugt für zeitvariante und nichtlineare Prozesse einzusetzen [3.9],[3.10],[3.11],[3.12] .
Es kann aufgrund der Rechenzeitbelastung im Grundtakt immer nur ein Regler des entsprechenden Typs in einer Basiseinheit strukturiert werden. Durch den grossen Speicherplatzbedarf im vereinbarten Speicher für Sondersoftwaremodule muss speziell beim Einsatz des SFTR auf zusätzliche Sodermodule in der betreffenden Basiseinheit verzichtet werden. Zur Parametrierung der Reglermodule sind nur geringe Kenntnisse über das zu regelnde System nötig. Tabelle 3.5 zeigt eine Gegenüberstellung beider Regler hinsichtlich ausgewählter Eigenschaften.

Reglermodul / Charakteristik	SFTR	ADRG
zu erfüllende Regelungsfunktion	optimale Führungs- und Störgrössenregelung	optimale Führungsgrössenregelung
verwendete Gütekriterien	integrales Kriterium bei minimaler Streuung der Regelgrösse ist fest vorgegeben	Regelgüte wird bestimmt durch Vorgabe des gewünschten Übergangsverhaltens für den geregelten Prozess
Entwurfsbedingungen hinsichtlich der Störsignaleigenschaften	als DB-Regler für deterministische als MVR und PID für stochastische und deterministische Störungen	für deterministische Führungsgrössenänderungen konzipiert
verwendetes Verfahren zur Modelladaption bzw. Regelkreissynthese	rekursiver Parameterschätzalgorithmus "Rekursive Methode der kleinsten Quadrate"	nichtlineare Parametersteuerung entsprechend der Stabilitätstheorien zur asymptotischen Stabilität
Rechenzeit	DB-Algorithmus 137ms PID- Algorithm. 148ms MVR- Algorithm. 180ms	102,4ms
Speicherplatzbedarf	8 kByte ROM 1 kByte RAM	5 kByte ROM 85 Byte RAM

Tabelle 3.5 . Vergleich der adaptiven Reglermodule SFTR und ADRG

3.2.2.1. Selbstoptimierender adaptiver Regler SFTR

Die Wirkungsweise des SFTR geht aus dem Bild 3.16 hervor. Einem Grundregelkreis, zerlegbar in Prozess mit weitgehend unbekannten Übertragungseigenschaften und dem Regler ist eine Schleife mit den Funktionsblöcken "Parameterschätzung" und "Reglerberechnung" überlagert [3.9] .

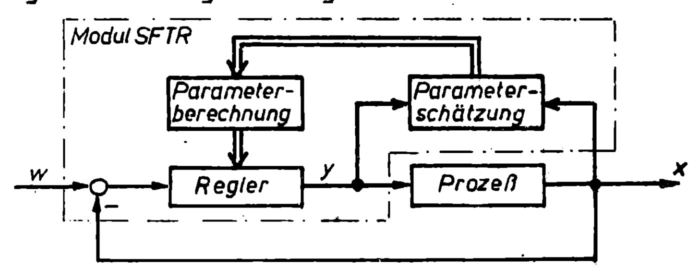


Bild 3.16 . Self-Tuning-Regelungssystem

Der Wirkungsablauf enthält die on-line-Lösung eines zugrunde liegenden Reglersyntheseproblems für bekannte Prozessparameter. Da die Parameter zunächst jedoch unbekannt sind, werden sie durch die aktuellen Schätzwerte ersetzt, die der Funktionsblock "Parameterschätzung" liefert. In dem Masse, wie das Schätzmodell das wahre Prozessverhalten widerspiegelt, wird der Regler sein gefordertes (optimales) Verhalten erreichen.

Der Self-Tuning-Regler dient der Regelung von Prozessen mit

- weitgehend unbekannten
- veränderlichen
- arbeitspunktabhängigen Übertragungs- und sich
- verändernden Störsignaleigenschaften.

Der Regler ist für

- Festwertregelung und
- Kaskadenregelung struturierbar.

Mit dem SFTR können wahlweise folgende Regler-Varianten realisiert werden:

- Minimal-Varianz-Regler (MVR)
- Deadbeat-Regler (DBR)
- PID-Regler (PID)

Entsprechend den Entwurfsbedingungen einschliesslich der zu erfüllenden Regelgüte nach minimaler Streuung, ist der MVR universell, aber insbesondere zur Ausregelung von stochastischen Störgrössen geeignet. Wahlweise ist ein I-Anteil zur Ausregelung bleibender Störungen strukturierbar.

Der DBR als spezieller Kompensationsregler führt den Regelkreis nach einem Sollwertsprung in einer endlichen Stellschrittzahl in den Beharrungszustand. Der DBR ist für stochastische Störgrössen weniger geeignet.
Beide Regler sind strukturoptimierte Regler.

Der PID-Regler, als parameteroptimierter Regler, wird durch Approximation aus dem DBR gewonnen. Der PID-Regler eignet sich für sprungförmige und stochastische Störungen. Die vom SFT-PID-Algoritmus ermittelten Reglerparameter sind auch über die Systemkommunikation zur Parametrierung des Reglermoduls RGL01 abrufbar, wenn der SFT-PID zur Optimierung an zeitinvarianten Regelstrecken eingesetzt wird.

Bei der Parametrierung des SFTR sind insgesamt 17 Parameter festzulegen. Darunter solche wie

- die Tastzeit
- der Vergessensfaktor λ
- Ansprechschwelle für Anpassfähigkeit des Schätzalgorithmus
- die Stellgrössenwichtung und
- die Ansprechschwelle für die Regelabweichung.

Als Regelstreckeneigenschaften sind die geschätzte Totzeit sowie die Ordnung der Regelstreckenübertragungsfunktion einzugeben.
Im einzelnen sind folgende Hinweise für die Dimensionierung der Parameter zu beachten:

- Die Tastzeit To sollte so gewählt werden, dass etwa 10 ... 30 Abtastungen auf den totzeitfreiei Teil der Übergangsfunktion der Regelstrecke entfallen. Es ist dann eine Abschätzung der Ordnung n und der maximalen Totzeit m_T als ganzzahliges Vielfaches der Tastzeit vorzunehmen. Die zulässigen Ordnungen n, m_T sind begrenzt:

$$1 \leq n \leq 4 \quad \text{und} \quad 0 \leq m_T \leq 5$$

- Vergessensfaktor bzw. "nachlassendes Gedächtnis". Damit ist es möglich zeitveränderlichen Prozessparametern zu folgen. Mit $\lambda = 1$ erfolgt keine Wichtung der Messsinformation. Es empfiehlt sich, λ im Bereich

$$0{,}95 < \lambda < 0{,}995$$

zu wählen. Damit wird ein Kompromiss geschlossen zwischen der Fähigkeit, Störsignale zu eliminieren (bei nahezu konstanten Schätz- und damit Reglerparametern) und der Fähigkeit, zeitvarianten Prozessparametern zu folgen. Folgende Empfehlung wird gegeben:

Störsignaleigenschaften / Prozess	zeitinvariant	zeitvariant
zeitinvariant	$\lambda = 0{,}995$	$0{,}99 < \lambda < 0{,}995$
zeitvariant	$0{,}95 < \lambda < 0{,}995$	

Tabelle 3.6 . Vergessensfaktor in Abhängigkeit von Signal- und Systemeigenschaften.

- Für den Wert der Ansprechschwelle der Anpassfähigkeit des Schätzalgorithmus bei auftretenden Störungen ist zunächst der Wert Null einzusetzen. Nach Beendigung des Einschwingvorganges setzt man für diesen Parameter den Wert der Regelabweichung ein. Es ist zu beachten, dass dieser Wert immer kleiner eins sein muss.

- Die Dimensionierung von Stellgrössenwichtung und Ansprechschwelle für die Regelabweichung haben unmittelbar Einfluss auf die Stellaktivität und die Regelgüte.

Eine ausfürliche Beschreibung zur Anwendung und Parametrierung des Reglermoduls SFTR einschliesslich der Einbindung in das System als Sondermodul ist in [3.10] zu finden.

3.2.2.2. Modelladaptiver Regler ADRG 01

Die Wirkungsweise dieses Reglers geht aus Bild 3.17 hervor. Der adaptive Regler liefert ein Stellsignal Y(i) in der Weise, dass das Fehlersignal ε (i) für alle Referenzsignale W(i) zu Null wird [3.11] .

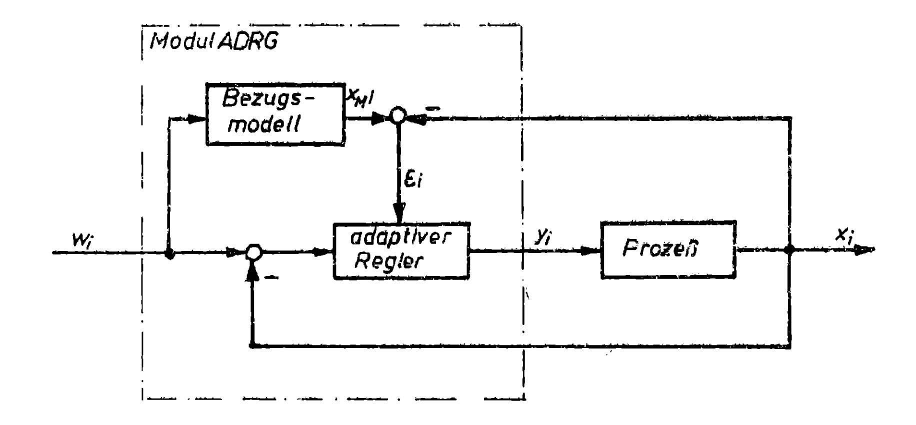


Bild 3.17 . Schematische Darstellung des modelladaptiven Reglers

Der modelladaptive Regler dient der Regelung von Prozessen mit weitgehend unbekannten oder veränderlichen (arbeitspunktabhängigen) Übertragungseigenschaften.

Speziell für das Bezugsmodell sind folgende Kenngrössen am Prozess zu ermitteln und als Parameter dem Reglermodul vorzugeben:

- Die Tastzeit To sollte so gewählt werden, dass 10 ... 20 Abtastungen auf einen Übergangsvorgang entfallen. Ein Übergangsvorgang gilt als beendet, wenn 95% vom statischen Endwert erreicht sind.

- Festlegung der Ordnung n der Übergangsfunktion.
  Es gilt die Beschränkung: $1 \leq n \leq 4$

- Ermittelung der Totzeitordnung TZO aus Ersatztotzeit T_{tE} und Tastzeit,

$$TZO = \frac{T_{tE}}{To} \qquad \text{TZO: ganzzahlig}$$

Es gilt die Beschränkung: $0 \leq TZO \leq 3$

- Festlegung des maximalen Wertes GMAX der Übergangsfunktion im (TZO + 1).ten Tastpunkt

- Ermittlung der Anstiegszeit TA

Aus nachfolgendem Bild 3.18 ist die Deutung der Parameter für das Bezugsmodell zu entnehmen.

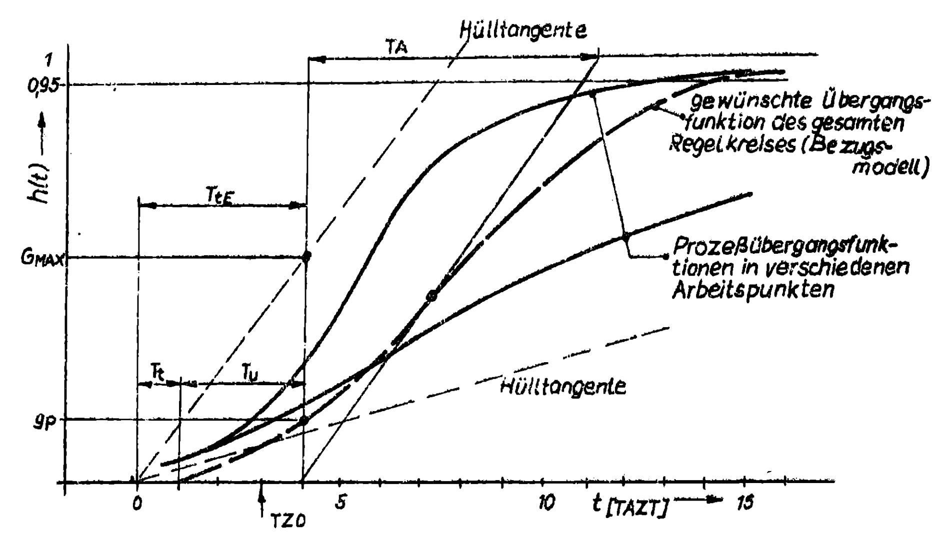


Bild 3.18 . Ermittlung der Bezugsmodellkennwerte aus Übergangsfunktionen des Prozesses

Der Prozess soll durch die adaptive Regelung das Übergangsverhalten eines vorgegebenen Bezugsmodells erhalten. Dem Bezugsmodell werden die gewählten Ordnungen (n,TZO) zugewiesen; seine Dynamik ist durch die Wahl der Anstiegszeit TA bestimmt, die der " geregelte Prozess " annehmen soll.

Ausführliche Hinweise zur Anwendung und Parametrierung des momodelladaptiven Reglers ADRG 01 sind in [3.12] zu finden.

Hinweis:
Beim geplanten Einsatz der adaptiven Reglermodule ist schon im Vorfeld der Projektierung darauf zu achten, welchen Einfluss die Vorgabe von 10...30 Abtastungen pro Übergangsvorgang beim SFTR und 10...20 Abtastungen beim ADRG auf die Festlegung der TAZT in einer Basiseinheit hat.

3.2.3. Mehrgrössenregelung

Sind in einer technologischen Anlage die Regelstrecken über Energieflüsse miteinander verkoppelt, so liegt ein Mehrgrössensystem vor. Charakteristisch für Mehrgrössenstrecken sind die Wechselwirkungen mehrerer Ein- und Ausgänge des Systems aufeinander; Stellgrössen beeinflussen mehrere Regelgrössen. Dementsprechend kompliziert und aufwendig sind die Realisierung und Bemessung der Regeleinrichtungen.
Mit dem zunehmend breiteren Einsatz von Mikrorechnern zur Beherrschung technologischer Prozesse und der Entwicklung des leistungsfähigen Systems 'audatec' gewinnen die aufwendigen Entwurfsverfahren und die Realisierung von Mehrgrössensystemen im Frequenz- und Zeitbereich an Bedeutung. Das PLS 'audatec' verfügt über einen zusätzlich freiprogrammierbaren Speicherbereich von 8 kByte je BSE, der vom Anwender für spezielle Automatisierungsfunktionen genutzt werden kann [3.13].

3.2.3.1. Zweigrössenregelung

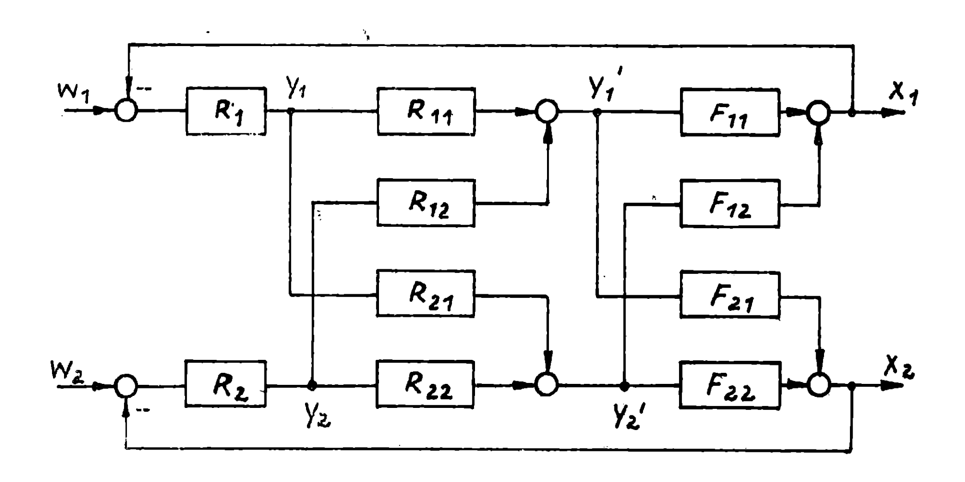


Bild 3.19 Signalflussbild einer Zweigrössenregelung

Am einfachsten zu überschauen ist noch die Zweigrössenregelung, auf sie soll im weiteren auch nur mit einigen praktischen Hinweisen eingegangen werden.
Das Bild 3.19 zeigt die Entkopplung einer Zweigrössenregelung mit P-kanonischer Strecke und P-ähnlicher Regeleinrichtung. Bei geeigneter Struktur und richtiger Bemessung der Entkopplungsglieder R_{11} ... R_{22} in ihrem statischen und dynamischen Verhalten dürfen sich Führungsänderungen und Störungen nur in dem jeweils resultierenden Regelkreis auswirken (Führungs-und Störungsautonomie).
Der Aufbau einer Zweigrössenregelung mittels audatec-Modulen

stellt im Vergleich zu einer gerätetechnischen Lösung einen wesentlich geringeren Aufwand dar. Die Entkopplungsglieder, die in der Regel komplexen Charakters sind, können durch Modulketten erzeugt werden, wenn die notwendigen Streckenkennwerte vorliegen.
Als Grundlage zum Entwurf und zur Bemessung von Mehrgrössenregelungen können die Literaturstellen [3.6], [3.14] empfohlen werden.

3.2.3.2. Hinweise zur Strukturierung und Optimierung einer Zweigrössenregelung

Ausgehend von der Matrix der Übertragungsfunktionen der Strecke eines Zweigrössensystems

$$F(p) = \begin{pmatrix} F_{11}(p) & F_{12}(p) \\ F_{21}(p) & F_{22}(p) \end{pmatrix}$$

besteht für die Matrix der Übertragungsfunktionen der Entkopplungseinrichtung entsprechend Bild 3.19 folgender Zusammenhang:

$$R_E(p) = \begin{pmatrix} R_{11}(p) & R_{12}(p) \\ R_{21}(p) & R_{22}(p) \end{pmatrix} = \mathrm{adj}\, F(p) = \begin{pmatrix} F_{22}(p) & -F_{12}(p) \\ -F_{21}(p) & F_{11}(p) \end{pmatrix}$$

An dieser Stelle soll auf eine spezielle Lösung für den Aufbau eines Zweigrössenreglers hingewiesen werden.
In [3.15] sind u.a. für P-kanonische Strecken mit P-ähnlicher Regeleinrichtung, die P-, I- oder PI- Verhalten haben kann, die Entkopplungsbedingungen für ein stabiles Mehrgrössensystem angegeben.
Für den Fall, dass I- Regler eingesetzt werden, ergeben sich die Übertragungsfunktionen der Entkopplungsglieder aus der Kenntnis der Übertragungsfaktoren K_{11}, K_{12}, K_{21}, K_{22} der Regelstrecke.

> Die Matrix der Übertragungsfunktionen für die Entkopplungseinrichtung wird durch die Bildung der inversen Matrix der Übertragungsfaktoren der Streckenglieder ermittelt.

$$R_E = \begin{pmatrix} R_{11} & R_{12} \\ R_{21} & R_{22} \end{pmatrix} = \frac{1}{\det K} \begin{pmatrix} K_{22} & -K_{12} \\ -K_{21} & K_{11} \end{pmatrix}$$

Die auf diese Weise erhaltenen Elemente der Entkopplungsmatrix stellen die Übertragungsfaktoren der einzelnen Glieder der Entkopplungseinrichtung dar.
Einen Strukturiervorschlag für die Realisierung dieser Regeleinrichtung zeigt Bild 3.20 . Die Werte von R_{11} ... R_{22} sind am jeweiligen Modul ADDG als Parameter einzutragen.

Weitere Hinweise zur Strukturierung:

Die Ausgangswerte des Moduls RGL und die Handstellwerte sind im internen Rechenformat immer positiv (0... 1).

Die Entkopplungseinrichtung arbeitet im Wertebereich -1... 0... +1.

Aus diesem Grunde werden die Module LIKO so parametriert, dass sie den Wertebereich von 0... +1 in den Bereich -1... 0... +1 wandeln.

Die Stellgrösse eines Reglerstranges (y_1' und y_2') liegt am Ausgang des jeweiligen Moduls ADDG an.

Die Art und die technischen Daten des Stellgliedes bestimmen die Gestaltung des Teiles der Modulkette, der das Ausganssignal für die Ansteuerung des Stellorgans aufbereitet. Der dargestellte Fall erfordert einen unstetigen Stellantrieb mit analoger Stellungsrückmeldung.

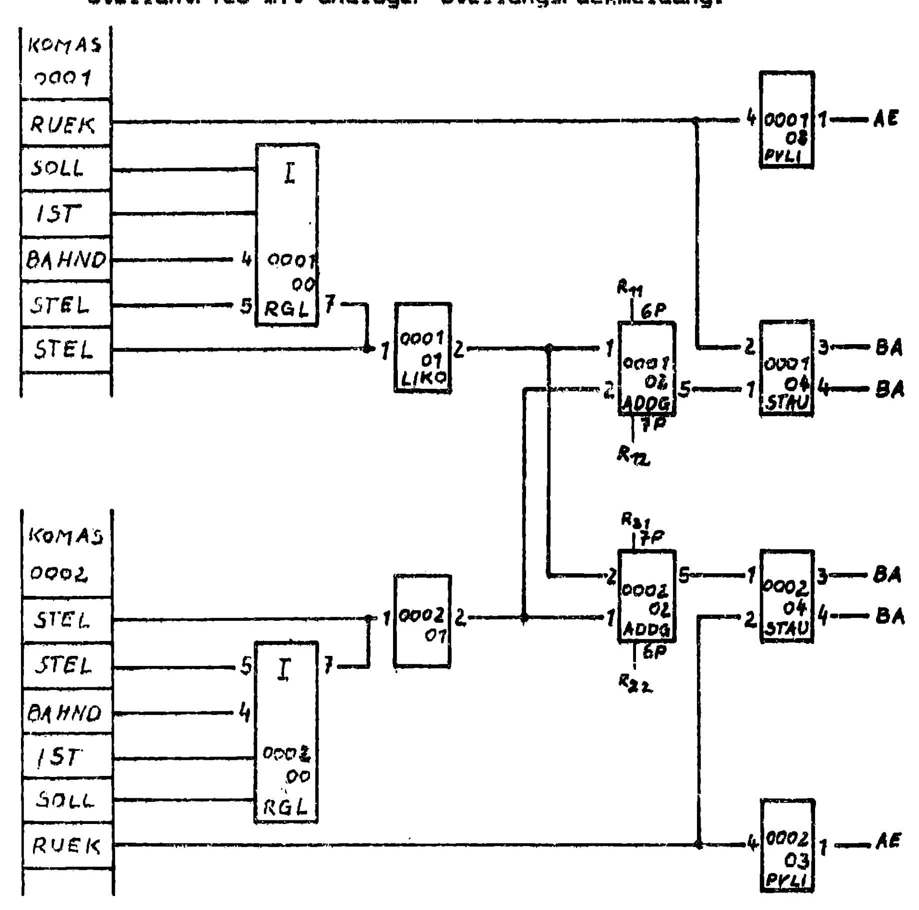


Bild 3.20 Vorschlag zur Struktur der Modulkette eines Zweigrössenreglers mit Entkopplung nach [3.15]

Die Optimierung der Hauptregler $R_1(p)$ und $R_2(p)$ erfolgt nach bekannten Verfahren, wobei die Kennwerte der jeweils resultierenden Strecke herangezogen werden.
Bei Verwendung der Regeleinrichtung nach Bild 3.20 haben die Übertragungsfunktionen der resultierenden Strecken folgende additive Form:

$$F_1(p) = R_{11} \cdot F_{11}(p) + R_{21} \cdot F_{12}(p) \quad \text{und}$$

$$F_2(p) = R_{22} \cdot F_{22}(p) + R_{12} \cdot F_{21}(p)$$

die im allgemeinen eine Vielzahl an Trägheits- und Vorhaltzeitkonstanten enthalten, die die mathematische Behandlung und das Bemessungsverfahren erschweren.
Als praktische Lösung bietet sich die Aufnahme und Auswertung der Sprungantwort der resultierenden Strecke an.
Dazu erfolgt die Sprungaufgabe an der Stelle y_1 und die Sprungantwort wird bei x_1 aufgezeichnet. Die Stellgrösse y_2 muss dabei in ihrem Wert verharren.
Der Signalfluss im Bild 3.21 zeigt beispielsweise die resultierende Strecke $F_1(p)$ für den Regler $R_1(p)$.
Sinngemäss sind die Verhältnisse auf die resultierende Strecke $F_2(p)$ zu übertragen.

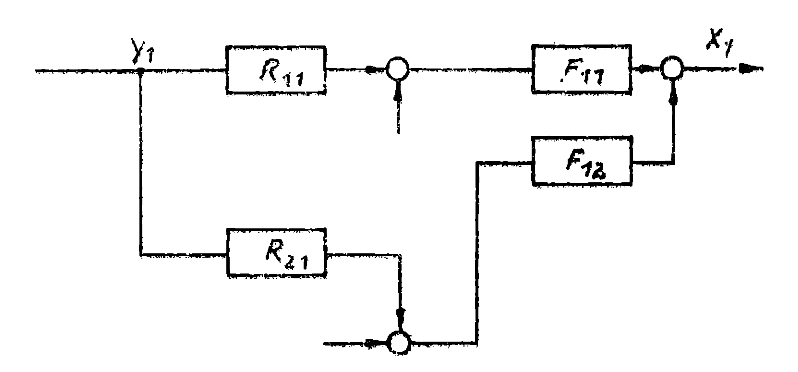


Bild 3.21 Signalflussbild der resultierenden Strecke $F_1(p)$

3.3. Inbetriebnahme von Steuerungen

Die Steuerungen im PLS 'audatec' werden durch den in der Basiseinheit (BSE) abgelegten Algorithmus bestimmt. Ein grosses Spektrum an Steuerungen kann realisiert werden. Es sind einfache Ein/Aus- Antriebssteuerungen, Ablaufsteuerungen, als auch komplexe Steuerungen mit einer Vielzahl von Antrieben und Stelleinrichtungen möglich.
Ausgenommen sind nur schnelle Steuerungen, für die eine Verarbeitung im Grundtakt der BSE von 330 ms zu langsam ist.
Der grundlegende Unterschied zu konventionellen Steuerungen besteht in der Abarbeitung des Steueralgorithmus zu bestimmten Zeitpunkten und der sequentiellen Abarbeitung der einzelnen Module des Steueralgorithmus.
Zur Realisierung dieser speicherprogrammierbaren Steuerungen stehen eine Vielzahl von logischen Verknüpfungsgliedern, Zeitgliedern, Sprung- und Komplexmodulen zur Verfügung, die eine optimale Realisierung der Steueraufgabe erlauben [3.3] .
Ein wesentlicher Unterschied zu konventionellen Steuerungen besteht auch in der Möglichkeit einer redundanten Ausführung der Steuerung in einer Reserve - BSE (RBSE), die bei Ausfall der Normal - BSE (NBSE) eine stossfreie Übernahme der Steuerung gewährleistet.

3.3.1. Komplextest von Steuerungen

Die Grundlage für den Komplextest bilden

- die Strukturpläne der BSE,
- die Merkerlisten der BSE,
- die Beschreibung der Steuerung (verbal, Ablaufdiagramme, Boolsche Gleichung u.a.m.),
- Prüfprogramme bei umfangreichen Steuerungen.

Die Prüfung der Steuerung erfolgt durch das Zusammenwirken von Pultsteuerrechner (PSR) und BSE. Es werden zunächst die Kommunikationsstellen (KOMS) des Typs binärer Aggregat-KOM (BA-) getestet. Anschliessend wird das Zusammenwirken von BA-KOMS mit den binären Leit-KOMS (BL-) getestet.
Beim Komplextest werden die für den Test der Steuerung notwendigen Binäreingänge an den Prozessanschlussfeld- (PAF-) Klemmen gesetzt, bzw. rückgesetzt. Die Ausgangssignale können ebenfalls an den PAF-Klemmen gemessen werden. Im weiteren reicht die Anzeige der entsprechenden Lampenfelder aus. Diese Art der Simulation gewährleistet gleichzeitig eine Überprüfung der Verdrahtung von den PAF-Klemmen über das Kartenanschlussfeld (KAF) und die Anschlusskabel bis zum Karteneinschub (KES) [2.4],[3.16].
Werden analoge Eingangssignale aus anderen KOMS mit einbezogen, so sind diese ebenfalls zu simulieren, oder der entsprechende Analogwert ist bei ausgeschalteter KOMS an geeigneter Speicherstelle zu setzen.

Beim Komplextest auftretende Fehler können in zwei Gruppen aufgeteilt werden:

- Formale Fehler

  Unter formalen Fehlern sollen Differenzen zwischen den Datenlisten der Funktioneinheiten und den Projektunterlagen verstanden werden. Sie sind auf Eingabefehler am Strukturierarbeitsplatz oder Schreibfehler in den Projektunterlagen zurückzuführen.
  Um formale Fehler auszuschliessen ist ein Vergleich

  Merkerliste BSE - Strukturplan

  Strukturplan - Verkettung in der BSE

  durchzuführen.

- Logische Fehler

  Logische Fehler sind vorhanden, wenn die Steuerung trotz richtiger Belegung der Binäreingänge nicht die von der Aufgabenstellung geforderten Ausgänge belegt. Ursachen sind:

  - Einsatz falscher Steuermodule
  - Fehler in der Verkettung der Module
  - Fehler in der Abarbeitungsfolge der Steuermodule
  - Falsche Sprungmasken und -bedingungen

  Die Beseitigung von logischen Fehlern wird unter Abschnitt 3.3.5 behandelt.

Als Ergebnis des Komplextestes sind die Steueralgorithmen funktionsfähig und es enstehen korrigierte Projektunterlagen (Merkerlisten, Strukturpläne).

3.3.2. Interne Funktionsproben von Steuerungen

Im Rahmen der internen Funktionsproben werden die Verbindungen zwischen dem Prozessleitsystem 'audatec' und dem technologischen Prozess unter Einbeziehung anderer Steuerungssysteme (ursalog U 4000, Relais-Technik, andere speicherprogrammierbare Steuerungen) geprüft.
Sind RBSE vorhanden, so ist die Umschaltlogik zwischen NBSE und RBSE einschliesslich der stossfreien Umschaltung der Steuerungen zu prüfen.

- Prüfung der Verdrahtung und Verschaltung BSE - Prozess

  Beim Aufrüsten der BSE sind die Stecker an den Ein- und Ausgabekarten (E/A-Karten) nicht zu stecken, um Schäden durch Potentialfehler zu vermeiden. Anstelle der Karten wird ein Ein-/Ausgabegerät (E/A-Gerät) angeschlossen.
  Die Binärsignale sind vor Ort zu simulieren und am E/A-Gerät zu messen. Die Binärausgänge werden ebenfalls auf

Fremdpotentiale und Kurzschluss geprüft. Erst nachdem alle Binärein- und -ausgänge geprüft sind, ist die prozesseitige Kopplung der BSE vorzunehmen.
Ist eine RBSE vorhanden, so sind diese Prüfungen auch hier durchzufüren, wobei für die Binärausgänge die Umschaltlogik zwischen RBSE und NBSE ebenfalls geprüft werden muss.
Bei der Prüfung der Binärausgänge ist darauf zu achten, dass die Leistungssicherungen von Antrieben gezogen sind.
Die sinnvolle Prüfung einer Antriebssteuerung sollte am Leistungsschütz enden.
Ergebnis dieser Prüfung ist die fehlerfreie Verschaltung von NBSE, RBSE, weiteren Steuerungssystemen und der technologischen Anlage.
Erkannte Pegelfehler an den Binäreingängen werden durch Hardware- oder Softwareänderungen behoben.

- Test der stossfreien Umschaltung zwischen NBSE und RBSE

Neben der Hardware-Umschaltlogik der Binärausgänge muss auch die Software geprüft werden. Daten (KOM-Typ-abhängig), die das Betriebssystem aktualisiert, brauchen nicht geprüft zu werden. Die Aktualisierung der Binärausgänge und der Binärmerker in NBSE und RBSE führen die Strukturumschalt-(STRU-) Module aus. Diese Module sind in der RBSE strukturiert. Treten bei der Umschaltung Fehler auf, dann sind die Hinweise unter Abschnitt 3.3.5 zu beachten.

3.3.3. Funktionsproben und komplexe Funktionsproben von Steuerungen

- Funktionsproben

Die einzelnen Antriebe (Motoren, Magnetventile, Klappen, ...) können durch die Bedientastatur oder vor Ort betätigt werden. Dabei müssen eventuelle Eingangsbedingungen erfüllt sein.
Für den Erprobungzeitraum werden diese Bedingungen an den PAF-Klemmen oder durch Software-Eingriffe hergestellt.
Im Rahmen der Funktionsproben werden auch Zeitkonstanten für die Steuerung durch die Messung von Laufzeiten, Anzugszeiten und andere Kriterien ermittelt.

- Komplexe Funktionsproben

Die komplexen Funktionsproben dienen der Testung des Zusammenwirkens verschiedener Antriebe und Anlagenteile und der entsprechenden Steuerungen unter Prozess- oder prozessnahen Bedingungen.
Änderungen oder Zusätze im Zusammenwirken der Steuerungen sind mit geringem Aufwand in die Strukturen der audatec-Anlage einzuarbeiten.
Ein wesentlicher Bestandteil der komplexen Funktionsproben ist die Prüfung der Verriegelungen und Abschaltbedingungen.

3.3.4. Probebetrieb von Steuerungen

Im Probebetrieb ist die Funktionsfähigkeit der Steuerungen unter Prozessbedinungen nachzuweisen. Zeitkonstanten sind weiter zu spezifizieren. Neue Erkenntnisse aus dem Probebetrieb haben Änderungen in den Steuerungen zur Folge; Anzeigen, die Darstellung von Grenzwertsignalen und auch Bezeichnungen sind zu modifizieren.

3.3.5. Hinweise zur Fehlersuche bei Steuerungen

Auf die Bestimmung von Verdrahtungsfehlern und Fehlern in anderen Steuerungssystemen wird nicht eingegangen. Es werden nur Hinweise zu Fehlern in der Software gegeben. Die Bestimmung von Fehlern erfolgt über die Systemkommunikation, deshalb sind Grundkenntnisse über die Systemkommunikation die Voraussetzung zur Fehlerbestimmung. Die Variantenvielfalt der möglichen Steuerungen ergeben auch eine Vielzahl möglicher Fehler, die in drei Gruppen eingeteilt werden:

- Formale Fehler

  Sie werden im Rahmen des Komplextestes beim Vergleich der Projektunterlagen mit dem Rechnerdateninhalt ermittelt. Sie können , z. B. bei Doppelbelegung von Binärmerkern, schwerwiegende Folgen haben.

- Pegelfehler

  Sie werden im Rahmen der Fnuktionsproben und komplexen Funktionsproben erkannt und beseitigt. Ob eine Änderung in der Hard- oder Software erfolgt, wird vorwiegend durch die Sicherheitskonzeption bestimmt.

- Logische Fehler

  Funktioniert die Steuerung nach der Prüfung auf formale Fehler und Pegelfehler nicht, so liegt ein logischer Fehler vor. Zur Prüfung eines komplexen Steueralgorithmus ist der Einsatz von zwei Pultsteuerrechnern von Vorteil. Einer wird zur Prozesskommunikation ("I"-, "0"- Befehle, Änderung der Fahrweise bei BL-KOMS usw.) benutzt, während der zweite der Systemkommunikation dient (Verfolgung der Signalwege, das Lesen der Inhalte von Merkern, usw.). Durch geringfügige,gezielte Eingriffe in die Software lassen sich die Signalflüsse besser verfolgen. Beispiele für einige dieser Massnahmen:

  - Setzen sich "I"- oder "0"-Befehle nicht durch, kann das entsprechende RESB-Modul gestrichen werden.

  - Bei Zeitgliedern mit kleinen Zeitkonstanten können diese vergrössert werden.

- Um einmalig durchlaufende Impulse zu erfassen, können bedingte Transportbefehle (Modul TZ1B) und/oder Speicher (Module RSDR u. RSDS) eingefügt werden.
  Somit kann der Inhalt eines interessierenden Bytes oder Bits auf einem unbenutzten Merker abgelegt und gelesen werden.

- Mittels bedingter Transportbefehle kann das Verhalten bei Neustart, Wiederanlauf der Steuerung nach Netzausfall der BSE und bei der stossfreien Umschaltung untersucht werden, wenn die entsprechende Bitposition des Bytes NSBY als Transportbedingung verwendet wird.

- Zustände von Teilkomplexen bei umfangreichen Steuerungen werden auf Lampenfeldern von BG-KOMS zur Anzeige gebracht.

Eine gewisse Sonderstellung haben Fehler, die bei der Umschaltung zwischen der Normal-BSE und der Reserve-BSE in den Steuerungen auftreten. Vorausgesetzt wird die fehlerfreie Funktion der Steuerung in der Normal-BSE und in der Reserve-BSE.
Damit zum Zeitpunkt des Umschaltens von einer BSE auf eine Reserve-BSE das Echtzeitverhalten und die Funktion der Steuerung gewährleistet werden, müssen die Strukturumschaltmodule die in der Reserve-BSE vorhandenen redundanten Steuerungen ständig aktualisieren.
Fehler in der Verkettung dieser Module verursachen Fehler bei der stossfreien Umschaltung.

Folgende Fehlerbilder sind möglich:

- Beim bedingten (stossfreien) Umschalten der Reserve-BSE zur Normal-BSE arbeiten die STRU-Module einmalig in umgekehrter Richtung, es erfolgt aber keine Maskierung des Transportes.

- Falsche Abarbeitungsfolge in der Steuerung, d.h. vor dem Lesen der Merker werden diese bereits wieder überschrieben.

- Einen weiteren Schwerpunkt bilden Fehler an Sprungmodulen. Sie sind hinsichtlich der Sprungbedingung und des Sprungziels zu untersuchen.

3.3.6. Übersicht der Inbetriebnahmeaktivitäten bei Steuerungen

Komplextest	- Vergleich Merkerliste und Strukturpläne - Prüfung der KOMS BA in NBSE - Prüfung des Zusammenwirkens der BA- und BL-KOMS in NBSE - Prüfung der BA- und BL-KOMS in RBSE
Interne Funktionsproben	- Prüfung der Verbindungen NBSE und RBSE zum Prozess, einschliesslich anderer Steuerungssysteme und Umschaltlogik - Test der stossfreien Umschaltung zwischen NBSE <---> RBSE
Funktionsproben	- Ermittlung von Zeitkonstanten - Test der Steuerung mit einzelnen Antrieben
Komplexe Funktionsproben	- Ermittlung von Zeitkonstanten - Test des Zusammenwirkens von Steuerungen - Test und Nachweis der Verriegelungen
Probebetrieb	- Feinabgleich von Zeitkonstanten - Einarbeitung des letzten Erkenntnisstandes

4. Nutzung von Systemeigenschaften bei der Inbetriebnahme

Die Vielfalt und die freie Parametrierbarkeit der Softwaremodule des Systems lassen eine umfangreiche Modellbildung zu, so dass beliebige Regelstreckenstrukturen, einschliesslich der Störsignale, nachgebildet werden können. Sie erlauben eine optimale Bemessung der Regeleinrichtungen, ohne einen komplizierten technologischen Prozess durch wiederholte Versuche zu gefährden.
In den nachfolgenden Abhandlungen sind Hinweise und Strukturen angegeben, die sich bei der Arbeit an Streckennachbildungen als nützliche Hilfsmittel erwiesen haben.

4.1. Signalsimulation

Zur Erzeugung bestimmter Funktionsverläufe werden beispielsweise nachfolgend zwei Signalgeneratoren vorgestellt.
Voraussetzungen zur Verwendung derartiger Softwarehilfsmittel sind die notwendigen Reserven in der Basiseinheit (BSE) und die allgemeinen Strukturiervorschriften [2.4],[3.3],[4.1] .
Diese Hilfsstrukturen könnten in bereits vorhandenen oder in eigens für sie eingerichteten Kommunikationsstellen (KOMS) untergebracht werden.

4.1.1. Sinusgenerator

Ein Sinusgenerator lässt sich grundsätzlich durch die Reihenschaltung zweier Integratoren mit starrer Rückführung aufbauen. Für die Periodendauer T der Schwingung gilt dann:

$$T = 6 \cdot TI$$

TI: Integrationszeitkonstante eines Integrators

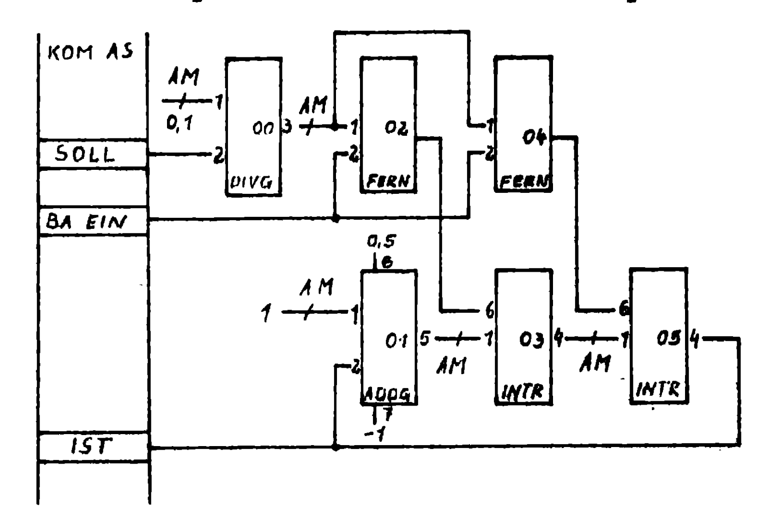


Bild 4.1 Strukturplan für einen Sinusgenerator

Das Beispiel zeigt einen Sinusgenerator in einer eigenen, freien KOMS mit Ferneinstellung der Schwingungsdauer durch die Eintragung eines entsprechenden SOLL-wertes. Der Messbereich des Kommunikationsblockes wurde für die Werte 0... 1000 festgelegt, d.h. eine Periodendauer bis 1000 s ist über die Bedientastatur beliebig einstellbar. Dieser festgelegte Messbereich ist auch für beliebige Tastzeiten verwendbar, wenn der analoge Merker am Eingang 1 des Moduls DIVG den Wert 0,1 Tastzeit erhält. Für die Tastzeit von 1 s ist der Wert von 0.1000 einzutragen, u.s.w.
Schwingungen im unteren Bereich sind nur unter Berücksichtigung der Tastzeiten sinnvoll zu erzeugen. Erfahrungsgemäss sollte die Schwingungsdauer, um ein quasianaloges Signal zu erhalten, nicht kleiner als etwa die zehnfache Tastzeit gewählt werden.
Ansonsten ist die untere Grenze der wählbaren Schwingungsdauer durch das Abtasttheorem gegeben. Zum andern führen ungünstige Tastverhältnisse (sehr kleine Schwingungsdauer) durch die zeitlichen Abarbeitungsfolgen in der BSE und die nichtsynchrone Darstellung zu irreführenden Schwebungen im Schirmbild.

4.1.2. Rampengenerator

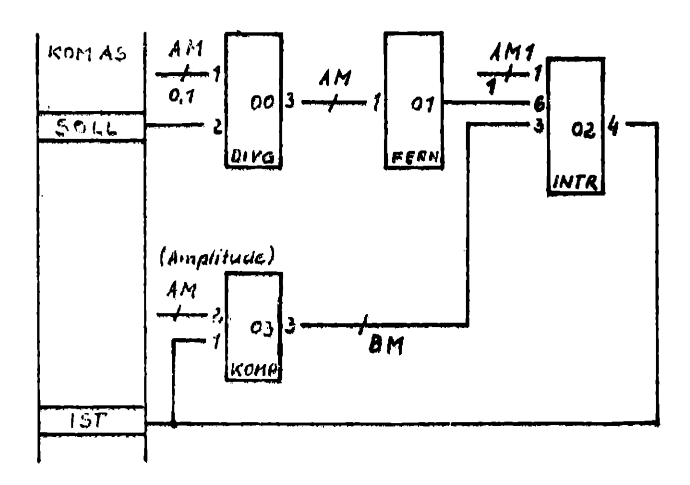


Bild 4.2 . Strukturplan eines Rampengenerators

Dieser Signalgenerator besteht im wesentlichen aus einem Integrator mit festem Eingangswert und einem Komperator, der nach erreichen eines voreingestellten Amplitudenwertes den Integrator zurück setzt.
Durch Festlegung des Messbereiches im Kommunikationsblock und Strukturierung einer Fernbedienung kann mit der Eintragung eines SOLL-wertes die Dauer eines Rampenverlaufes (... 1000 s) vorgegeben werden. Die einzelnen Funktionswerte erscheinen im Bild zwangläufig im Masstab der Zeitachse. Für den Anwender ist das ohne Bedeutung, da alle Funktionswerte intern im Bereich 0 ... 0.9999 abgebildet werden.

Die Amplitude der Funktion kann durch Beschreiben des analogen Merkers am Eingang 2 des Moduls KOMP im Bereich 0... 0.9999 festgelegt werden. Kleinere Werte als 0.9999 führen zu proportionalen Verkürzungen der Dauer eines Rampenverlaufs, die Sollwertzeiten beziehen sich immer auf eine maximale Amplitude. Sollen verschiedene Tastzeiten zur Anwendung kommen, so sind diese in Anlehnung an Abschn. 4.1.1 durch Eintragungen im analogen Merker am Eingang des Moduls DIVG zu realisieren.

4.1.3. Einfacher Störsignalgenerator

Um Strecken- und Reglermodelle sinnvoll testen zu können, sind Störquellen notwendig. Nicht immer werden Rauschgeneratoren zur Verfügung stehen, die auch mathematischen Ansprüchen gerecht werden.
Für einfachere Belange der Testung ist aus den erwähnten Signalgeneratoren ohne grossen Aufwand der Aufbau eines Störsignalgenerators möglich. Die Einzelfrequenzen werden gebrochen gestaffelt dem Zweck der Testung angepasst, die Anteile bewertet und summiert.
Das Prinzip ist in Bild 4.3 dargestellt.

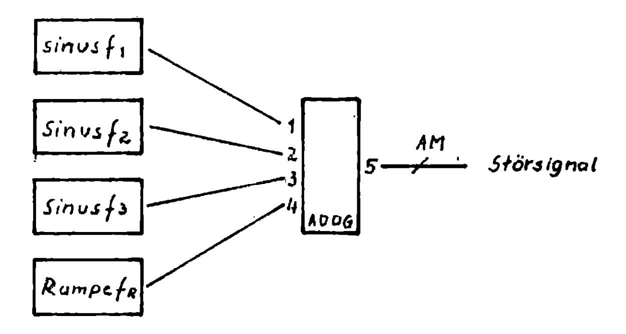


Bild 4.3 . Strukturvorschlag zur Erzeugung eines Störsignals

4.2. Regelstreckensimulation

4.2.1. P-Tn-strecke

Das Bild 4.4 zeigt den möglichen Aufbau einer P-Tn-Streckennachbildung mit den Eintrittsstellen der Störungen Zi. Für die Einkopplung von Störquellen sind Additionsglieder zu strukturieren. Ansonsten ist die Ordnung, bzw. Struktur der Strecke durch die entsprechende Anzahl von T1GL-modulen, bzw. anderer dynamischer Glieder zu erweitern.
XH ist ein möglicher Abgriff einer Hilfsregelgrösse. Die Tastzeit der KOMS ist den Erfordernissen des Streckenmodells anzupassen.

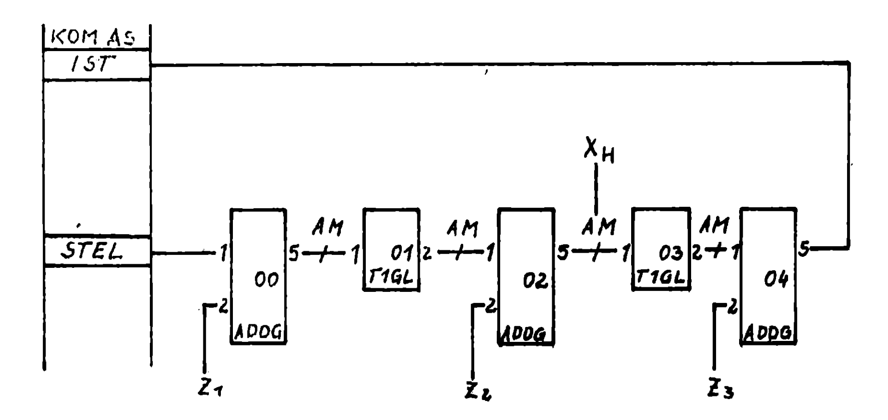


Bild 4.4 Prinzipaufbau eines Streckenmodells

4.2.2. Totzeitglied

Die Struktur eines Totzeitgliedes zeigt Bild 4.5 .
Taktweises Umspeichern eines Analogwertes erlaubt die Nachbildung eines Totzeitgliedes. Kann die Struktur des Totzeitgliedes nicht in der Kette untergebracht werden, für welche das Signal bearbeitet oder bereitgestellt wird, so muss sie an anderer Stelle mit gleicher Tastzeit abgearbeitet werden.
Die Grösse der zu realisierenden Totzeit wird immer ein Kompromiss zwischen möglichem Aufwand und Notwendigkeit sein.
Unter Vernachlässigung der Verzögerung durch die Zeitscheiben folgt für die Totzeit T_t:

$$T_t = n \ TAZT$$

n: Anzahl der Umspeicherungen, TAZT: Tastzeit

Bild 4.5 Struktur zur Nachbildung eines Totzeitgliedes

4.2.3. Allpassglied 1. Ordnung

Für experimentelle Untersuchungen könnte die Nachbildung eines Allpassgliedes von Nutzen sein. Allpassverhalten zeigt in der

Technik beispielsweise der Trommelwasserstand eines Dampferzeugers. Die für den angegebenen Strukturvorschlag entsprechende Übertragungsfunktion lautet:

$$F(p) = \frac{1 - pT_1}{1 + pT_1}$$

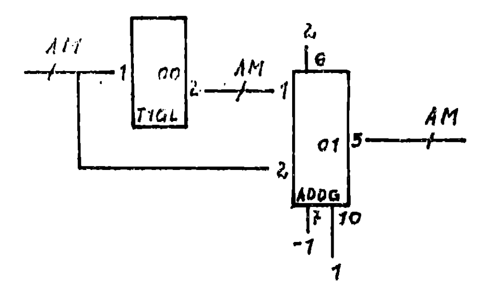


Bild 4.6 Struktur eines Allpassgliedes 1. Ordnung

4.3. Hilfsmittel zur Beurteilung der Regelgüte

4.3.1. Anschluss und Anpassung von Registriergeräten

Für die Ausführung von Einfahrarbeiten in Automatisierungsanlagen sind zusätzliche Möglichkeiten des Aufzeichnens von Signalverläufen wichtige Hilfsmittel, besonders bei der Optimierung von Regelvorgängen.
Sofern keine ausreichende Anzahl (1- oder 5-kanalig) von Analogausgängen dafür zur Verfügung stehen oder zwischenzeitlich genützt werden können, sollte bereits im Stadium der Projektierung [2.4], [3.16] eine derartige zusätzliche Bestückung vorgesehen werden. Besonders die Etappe der Erprobung von Anlagen erfordert eine erhöhte Auflösung der zu messenden Prozessgrösse bei Aufzeichnungen.

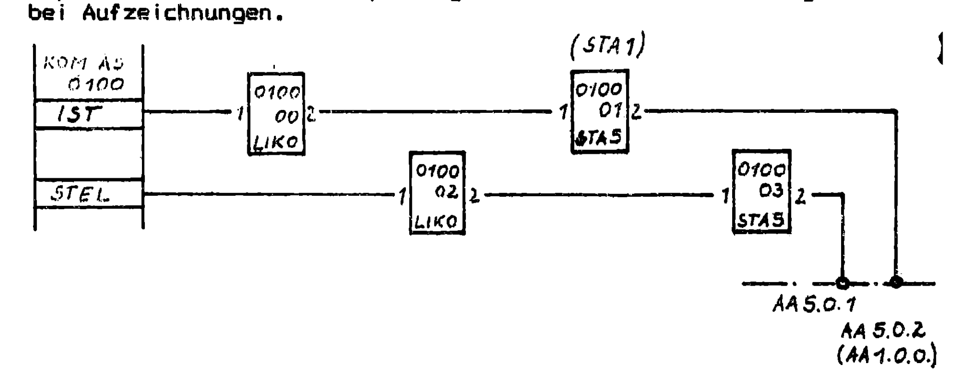


Bild 4.7 Modulketten zur Ansteuerung von Ausgabekanälen

Nur wenige Geräte lassen im praktischen Gebrauch eine Ausblendung des uninteressanten und Spreizung des interessanten Teiles einer Messgrösse zu.
Besteht die Möglichkeit an einer audatec-Anlage über 1- und 5-kanalige Ausgabekarten Schreiber mit Einheitssignaleingängen zu betreiben, so kann die Unterdrückung und Spreizung der Messbereiche softwareseitig durch die Verwendung von Basismodulen beliebig und exakt vorgenommen werden.
Das Prinzip der Struktur eines solchen Kanales zeigt Bild 4.7 . Die wesentlichen Einstellungen werden am Basismodul LIKO vorgenommen.Es realisiert folgende Gleichung:

$$y = K1 \cdot X + K2$$

Anwendungsbeispiele:

1. Eine Temperatur wird im Bereich von 0 ... 200 °C angezeigt. Für eine auszuwertende Aufzeichnung sei nur der Teilbereich von 120 ... 140 °C interessant und soll auch die gesamte Registrierbreite ausfüllen. Folglich werden 60 Prozent des Messbereiches unterdrückt und der erwünschte Anteil mit dem Faktor 10 versehen. Damit erhält das Modul LIKO diese Eintragung:

   1E: Signaleingang (X)
   2A: Signalausgang (Y)
   3P: .10 E+2 (K1= 10)
   4P: .60 E+0 (K2= 0,6)
   5P: 0

2. Ein Mehrfachschreiber, bei dem alle Spuren ineinander verlaufen und jede die gesamte Registrierbreite belegt, soll durch die Strukturierung entsprechender LIKO-module die Signalverläufe nebeneinander aufzeichnen. Für einen Zweifachschreiber, bei dem die Spuren gleiche Anteile von der Registrierbreite haben sollen, erhalten die Parameter 3 und 4 der LIKO-module diese Werte:

   Spur A/ 0... 50 %: 3P: .50 E+0; 4P: .00 E+0
   Spur B/ 50... 100 %: 3P: .50 E+0; 4P: .50 E+1

   Auf diese Weise lassen sich auch die Anteile der Spuren untereinander verschieben, sowie Teile der Einzelspur unterdrücken und spreizen.

4.3.2. Struktur zur Messung der Standardabweichung

Zur Beurteilung der Schwankungsbreite von Signalen im allgemeinen, bzw. der Qualität geregelter Prozessgrössen ist die Messung der Standardabweichung oft ausreichend.

Folgende Gleichung für die Standardabweichung S liegt der

Rechenschaltung im Bild 4.8 zugrunde:

$$S = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=0}^{n} (X_i - X_m)^2}$$

n : Anzahl der Messpnkte
X_i: aktueller Messwert
X_m: Mittelwert des Signals, für Regelgrössen kann auch der zugehörige Sollwert Bezugsgrösse sein.

Für verschiedene Messbereiche der Standardabweichung sind in der Tabelle 4.1 die unterschiedlichen Parameter für das Modul 05 MULG angegeben. Alle anderen Einstellungen bleiben unverändert.
Die Tastzeit der einzurichtenden KOMS und die Einstellung des T1 - Gliedes zur Mittelwertbildung müssen unter Berücksichtigung der Signalfrequenzen gewählt werden.
Dazu sind die Ausführungen im Abschnitt 3.1.1.1. zu beachten.

Tabelle 4.1 :

Messbereich:	... 3,162 %	... 10,00 %	... 31,62 %
05 MULG/4P :	.10E+4	.10E+3	.10E+2

Hinweise:

- Die in den Strukturen angegebenen analogen und binären Merker muss der Anwender entsprechend eigener Reserven wählen.

- Wenn die Zeitbilanz in den Abarbeitungszyklen der BSE eine freie Wahl der Tastzeit der KOMS für die Messung der Standardabweichung erlauben, so kann damit die Messdauer (immer für 1000 Messpunkte) variiert werden. Bei einer Tastzeit von 1 s sind 1000 Messpunkte in 1000 s abgearbeitet; die Kette startet sich selbst neu. Im Datenfeld STEL (ohne Komma!) wird die fortlaufende Anzahl der verarbeiteten Messwerte angezeigt.

- Die Eingangsadresse des Moduls PVNL ist die eines beliebigen Analogeinganges. Sie muss belegt sein, ihr Analogwert hat keinen Einfluss auf den Rechenvorgang.

- Das Datenfeld RUEK der KOMS wird vom Ausgang des Integrators für die Signaldifferenz belegt, wodurch er im Bild beobachtet werden kann (wichtig bei Einmessung der Kette mit konstanten Werten auf dem Merker AM 81).

- Signalwerte, die ausserhalb des strukturierten Messbereiches der Kette liegen, werden nicht erfasst.
  Die Unempfindlichkeit bezüglich der Schwankungsbreite ist für den Bereich 0... 3,162 %: kleiner 0,03 %
  0... 10,00 %: kleiner 0,1 %
  0... 31,62 %: kleiner 0,3 %
  vom Signalmessbereich.

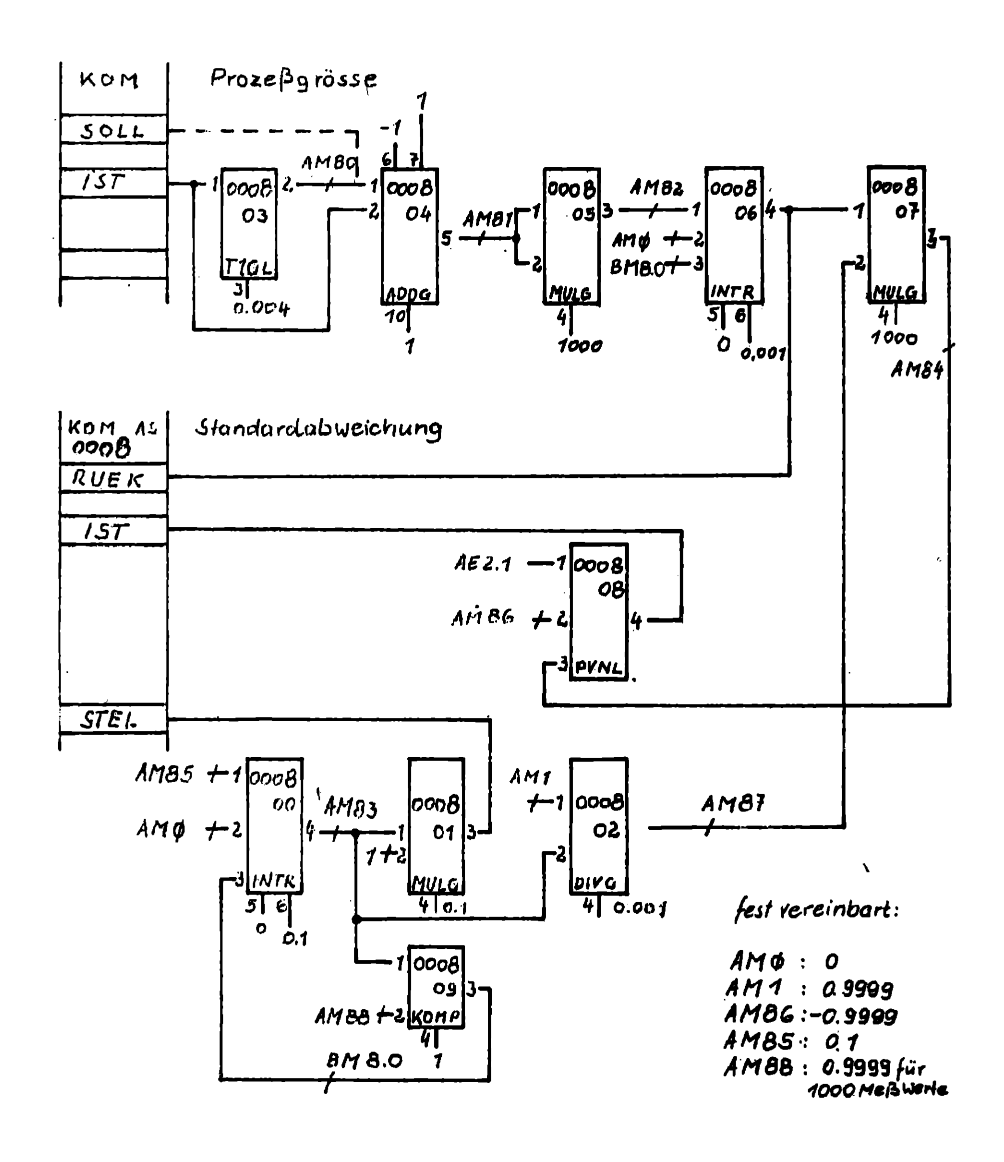


Bild 4.8 . Struktur zur Ermittlung der Standardabweichung

4.3.3. Doppeltrend-Darstellung einer Analoggrösse

Die normale Trenddarstellung zeigt den Verlauf einer analogen Grösse. Der Strukturvorschlag im Bild 4.9 ermöglicht die Darstellung zweier analoger Signale in einem Bild, indem abwechselnd auf den IST-wert der einzurichtenden KOMS die eine und die andere Analoggrösse durchgeschaltet wird. Damit lässt sich in vielen Fällen auf einfache Weise die funktionelle Abhängigkeit zweier Grössen ausreichend genau beobachten.

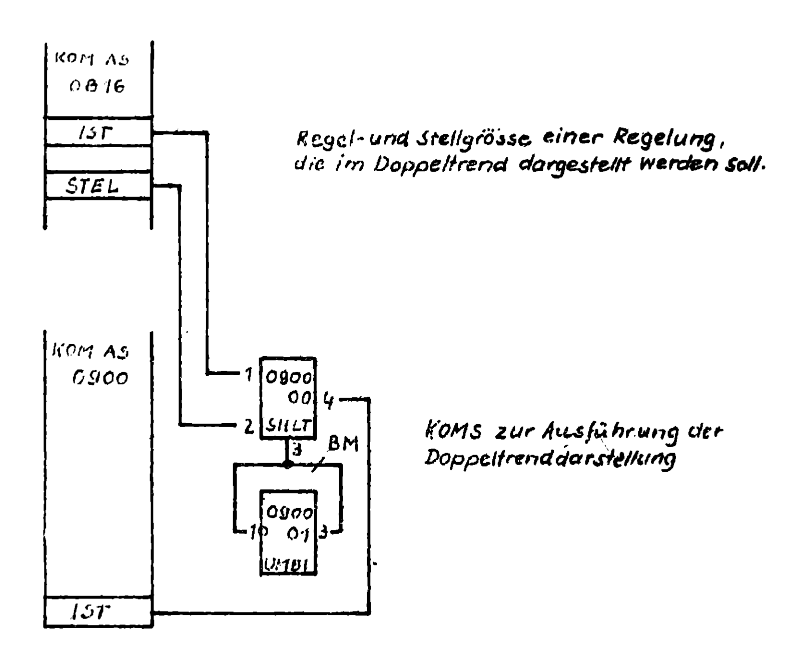


Bild 4.9 Struktur der Doppeltrenddarstellung

Die Trendzeit ist immer ungeradzahlig zu wählen!
Die im Abschnitt 4.3.1 empfohlenen Massnahmen zur Ausblendung und Spreizung von Messbereichen lassen sich sinngemäss auch bei der Strukturierung von Doppeltrendbildern anwenden.

5. Arbeitsmittel zur Organisation der Inbetriebsetzungsarbeiten beim PLS 'audatec'

Bis zur Nutzung der projektierten Funktion eines MSR-Kreises im Probebetrieb sind eine Vielzahl von Teilprüfungen intern als auch im Zusammenwirken mit anderen signalverarbeitenden Anlagen (z.B. elektro- und lüftungstechnische Anlage) durchzuführen. Die Prüf- und Simulationsbedingungen sind auf die zu erfüllende Automatisierungsaufgabe abzustimmen. Zur Einhaltung des vorgegebenen Zeitrahmens für den gesamten Inbetriebsetzungsprozess ist die Anwendung arbeitsorganisatorischer Massnahmen erforderlich. Sie sind Grundlage für eine effektive und abrechenbare Inbetriebsetzungsleistung und besonders bei der Realisierung grösserer Automatisierungsanlagen anzuwenden.
Mit der Einführung des PLS 'audatec' verstärkte sich die Forderung nach Arbeitsmitteln zur organisatorischen Bewältigung des Inbetriebsetzungsprozesses. Einige Besonderheiten sind bei der Inbetriebsetzung des PLS 'audatec'zu beachten.

- Die Konzentration der Signalverarbeitung in einer Basiseinheit ist hoch.
  Aus 18 verschiedenen 'audatec'- Anlagen wurden für eine Basiseinheit folgende Durchschnittswerte, die die Konzentration der Signalverarbeitung kennzeichnen, ermittelt:

  46 analoge Prozessein- und Prozessausgangssignale
  155 binäre Prozessein- und Prozessausgangssignale
  67 Kommunikationsstellen
  175 Basismodule
  502 Steuermodule und
  7 Regelkreise

- Die Automatisierungsanlagen verfügen gegenüber einer konventionellen Lösung bei gleicher Grösse über wesentlich mehr Informationsverarbeitung.
  Die bisher grösste realisierte Konfiguration des PLS umfasst

  2300 Kommunikationsstellen,
  1572 analoge Prozessein- und Prozessausgänge und
  5963 binäre Prozessein- und Prozessausgänge.

- Die serielle Bedienbarkeit der einzelnen KOMS beeinflusst den Inbetriebsetzungsablauf.

- Die getrennt durchzuführenden Funktionsproben für den konventionellen Teil und den Mikrorechnerteil der AA, sowie die Kopplung der beiden Teile, verlangen abgestimmte, parallel ablaufende Inbetriebsetzungshandlungen.

Die praktische Erfahrung zeigt, dass die Inbetriebsetzungsarbeiten durch die Erstellung, Führung und Abarbeitung spezifischer Arbeitsblätter zu einzelnen Prüfinhalten, Prüfabläufen und Prüfabschnitten inhaltlich und zeitlich gestaltet werden können.

Diese Verfahrensweise sichert den positiven Abschluss der Inbetriebsetzung hinsichtlich der zu erzielenden Qualität der Prüfergebnisse und hat damit Einfluss auf die Zuverlässigkeit der gesamten Automatisierungsanlage.
Eine solche Arbeitsorganisation sichert einen definierten Ablauf der Inbetriebsetzungsarbeiten im Sinne einer Terminhaltung zu allen markanten Zeitpunkten des Inbetriebsetzungsprozesses.

Folgende Arbeitsunterlagen können die Inbetriebsetzung inhaltlich und organisatorisch unterstützen:

- Arbeitsblätter für Geräte-, Gefäss- und Ausrüstungsprüfung
- Arbeitsblätter für Leitungsprüfungen aller Art
- Arbeitsblätter für Struktur- und Schleifentests
- Arbeitsblätter für Regelungs- und Steuerungsoptimierung
- Arbeitsblätter für den Funktionsnachweis des MSR-Kreises bzw. der Kommunikationsstelle.

Diese Arbeitsblätter sind projektspezifisch zu erstellen.
Die ständige Auswertung der Arbeitsblätter stellt den aktuellen Stand der Inbetriebsetzungsarbeiten dar, der in sogenannten Inbetriebsetzungsfortschrittslisten dokumentiert wird.
Gegenwärtig ist der darauf verwendete Zeitfond beträchtlich, da weder die entsprechende Rechentechnik, noch die entssprechende auswert- und bearbeitbare Datenbasis in Form von Stück-, Ausrüstungs- und MSR-Stellenlisten verfügbar sind.

6. Ausblick

In Zukunft ist eine wesentliche Beeinflussung der Arbeitsinhalte und der Technologie der Inbetriebsetzung unter anderem durch folgende Faktoren zu erwarten:

- Einsatz von CAD-Systemen auf der Basis der 16-Bit-Technik zur Projektierung von Automatisierungsanlagen

- Einsatz von 16-Bit-Rechnern in der Prozessleitebene zur Unterstützung der Verwaltungsprozesse bei der Anlagenrealisierung, zur Projektrevision, sowie zur Systemanalyse

- Einsatz von dezentraler Rechentechnik für die Inbetriebsetzung als Prüf- und Simulationstechnik

- Ablösung des noch konventionellen Automatisierungsanlagenteiles durch intelligente Mess- und Stelltechnik und Feldbussysteme

- Übergang von Systemen mit elektrischen Leitern zu Lichtwellenleitersystemen

Die im Abschnitt 5 angesprochenen Möglichkeiten zur Rationalisierung des Inbetriebsetzungsprozesses sind mit der zu erwartenden Rechentechnik nur dann auszuschöpfen, wenn bereits bei der rechnergestützten Projektierung eine Datenbasis erzeugt wird, die allen nachfolgenden Phasen der Realisierung zur Verfügung steht [6.1]. Die Nutzung dieser Datenbasis ermöglicht während der Montage und Inbetriebsetzung eine weitgehende Reduzierung des Aufwandes der manuellen Dateneingabe, führt zu einer Verbesserung der Effektivität und Qualität der Arbeitsprozesse auf der Baustelle. Diese Datenbasis bilden Stücklisten, Ausrüstungslisten und die MSR-Stellenlisten. Der Aufbau dieser Listen muss Dateiformaten entsprechen, die durch entsprechende Programmsysteme (BASIC, REDABAS, u.a.) bearbeitbar sind.
Der Einsatz von Feldbussystemen, Lichtwellenleitertechnik und intelligenter Mess- und Stelltechnik wird die Entwicklung zusätzlicher, neuer Prüfverfahren bedingen. Rechnergestützte Prüf- und Simulationsverfahern werden auch für Inbetriebsetzungsvorgänge auf der Baustelle zunehmend an Bedeutung gewinnen.

7. Literaturverzeichnis

[2.1] Venus, G.; Beuchel, H.: KDT-Reihe Automatisierungstechnik Band 18: Fertigung und Montage von Automatisierungsanlagen mit Mikrorechnern, GRW Teltow, 1987

[2.2] Autorenkollektiv: VEM-Handbuch Automatisierungsanlagen, Berlin: Verlag Technik, 1986

[2.3] Technologische Vorschrift, Prüfverfahren Hardwareprüfungen von audatec-Einrichtungen und Funktionseinheiten; TV 5.11.2 GRW Teltow

[2.4] Katalog Automation Projektierungsvorschriften (KAPV) GRW Teltow, 1987

[3.1] Isermann, R.: Digitale Regelsysteme Berlin: Springer, 1977

[3.2] Günther, M.: Zeitdiskrete Steuerungssysteme Berlin: Verlag Technik, 1986

[3.3] Katalog Automation Software 'audatec' GRW Teltow, 1987

[3.4] Zemlin, E.: Reihe Automatisierungstechnik Band 36 Grundzüge des Frequenzkennlinienverfahrens 2. Auflage, Berlin: Verlag Technik

[3.5] Reinisch, K.; Puta, H.: Kontinuierliche Steuerungssysteme Abschnitt 5 im Taschenbuch Elektrotechnik, Band 2: Grundlagen der Informationstechnik, 3. Auflage Herausgeber: E. Philippow, Berlin: Verlag Technik, 1987

[3.6] Reinisch, K.: Analyse und Synthese kontinuierlicher Steuerungssysteme, 2. Aufl., Berlin: Verlag Technik, 1982

[3.7] Takahashi, Y.; Chan, C.S.; Auslander, D.M.: Parametereinstellung bei linearen DDC-Algorithmen Regelungstechnik 19 (1971) 6, S. 237 - 244

[3.8] Schwarze, G.: Reihe Automatisierungstechnik Band 50 Regelungstechnik für Praktiker, Berlin: Verlag Technik

[3.9] Billerbeck, G.; Klinsmann, L.: Mikrorechnersoftwarepaket für Entwurf und Generierung selbsteinstellender (self-tuning) Regler für das industrielle Automatisierungssystem 'audatec', Forschungsbericht ZKI der AdW, 1985

[3.10] Beschreibung Sonderbasismodul SFTR, Self-Tuning-Regler GRW Teltow, 1988

[3.11] Billerbeck, G.; Klinsmann, L.: Mikrorechnersoftware eines adaptiven Basisreglers für das industrielle Automatisierungssystem 'audatec' Forschungsbericht ZKI der AdW, 1983

[3.12] Beschreibung Sonderbasismodul ADRG 01, Modelladaptiver Regler, GRW Teltow, 1986

[3.13] Programmierung von Sonderbasismodulen für BSE (PV 25-03-13) Katalog KAPV GRW Teltow

[3.14] Korn, U.; Wilfert, H.-H.: Mehrgrössenregelungen
Moderne Entwurfsprinzipien im Zeit- und Frequenzbereich
Berlin: Verlag Technik, 1982

[3.15] Jordan, B.: Realisierung mehrvariabler Regelungen für unvollständig bekannte Regelstrecken
Unveröffentlichte, bereichsinterne Dokumentation
GRW Teltow

[3.16] Katalog Automation Bauteile
GRW Teltow, 1988

[4.1] Franke, H.; Kindermann, H.; Müller, W.:
KDT-Reihe Automatisierungstechnik, Band 14
Projektierung von Automatisierungsanlagen mit dem Prozessleitsystem 'audatec', GRW Teltow, 1985

[6.1] Heising, R.; Meischner, Chr.:
Rechnergestützte Bearbeitung der MSR-Stellenliste.
messen-steuern-regeln, Berlin 30 (1987) 6, S. 248-251

8. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

AA	Automatisierungsanlage
AA 5.0.1	Analogausgang 5-kanalig, Karten-Nr. 0, Kanal-Nr. 1
AE 2.1	Analogeingang, Karten-Nr. 2, Kanal-Nr. 1
ADRG	Modelladaptiver Regler
BA	Binärausgang
BSE	Basiseinheit
DBR	Deadbeat-Regler
EPROM	Programmierbarer Festwertspeicher, löschbar (erasable programmable memory)
f	Frequenz
FE	Funktionseinheit
F(p)	Übertragungsfunktion
FV	Frequenzkennlinienverfahren
G(z)	diskrete Übertragungsfunktion
KDT	Differentialkoeffizient im Modul RGL 01
KES	Karteneinschub
KI	Integralkoeffizient im Modul RGL 01
KOM	Kommunikationsblock
KOMS - AS	Kommunikationsstelle - Analog-stetig
- AU	- Analog-unstetig
- BA	- Binär-Aggregat
- BG	- Binärer Geber
- BL	- Binär-Leit
MVR	Minimal-Varianz-Regler
µRAA	Mikrorechnerautomatisierungsanlage
NBSE	Normal-Basiseinheit
ω	Kreisfrequenz
PLS	Prozessleitsystem
PSR	Pultsteuerrechner
PV	Projektierungsvorschrift
RAM	Schreib-/Lesespeicher (random access memory)
RBSE	Reserve-Basiseinheit
SFTR	Self-Tuning-Regler
STA1	Stellwertausgabe stetig, einkanalig
STAU	Stellwertausgabe unstetig
T	Schwingungsdauer
TAZT	Tastzeit im System 'audatec'
To	Tastzeit, allgemein
V	Verstärkung
VDT	Verstärkung im D-Zweig des Modul RGL 01
X	Regelgrösse
XA(i)	Ausgangsgrösse zum Zeitpunkt i
XE(i)	Eingangsgrösse zum Zeitpunkt i
XW	Regelabweichung
Y	Stellgrösse

Andere Abkürzungen sind im Text an entsprechender Stelle erklärt.